

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Retrofitting přisazeného svítidla EMOS
Retrofitting of the EMOS Ceiling Mounted Luminaire

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Dominik Bernard**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Retrofitting přisazeného svítidla EMOS**
Retrofitting of the EMOS Ceiling Mounted Luminaire
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Porovnání parametrů LED, kompaktních zářivek a eco halogenových žárovek s patičí E27
- Chování různých světelných zdrojů v interiérovém svítidle s patičí E27 (EMOS ZM2401 – přisazené svítidlo)
- Parametry interiérových osvětlovacích soustav – porovnání chování s různými světelnými zdroji: eco halogenové žárovky 42W (ZE0703), kompaktní zářivky 15W (Z87022), LED 9W (ZQ5142), LED filament (Z74261)
- Porovnání vybraných světelných zdrojů měřením
- Porovnání vybraných svítidel měřením

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Přerově 30. 4. 2019

.....*Bernard*.....

Dominik Bernard

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu práce doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. a prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za nedocenitelné rady při zpracování diplomové práce a ochotu pomoci mi při jakémkoliv problému. Dále bych rád touto cestou poděkoval společnosti EMOS spol. s r.o., za poskytnutí laboratoře a Ondřeji Cupalovi za vedení a rady v průběhu měření. V neposlední řadě bych rád poděkoval Ing. Petru Běčákovi a Bc. Janu Šebestovi za pomoc při měření jasové analýzy.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá možnostmi retrofitingu přisazeného svítidla. Konkrétně se jedná o přisazené svítidlo od firmy EMOS spol. s r.o. První část práce je zaměřena na srovnání jednotlivých světelných zdrojů pomocí multikriteriální analýzy a teoretickou úvahu o možných vlivech jednotlivých retrofitů na svítidlo, respektive osvětlovací soustavu. Poukazuje na možná úskalí, ale i výhody, které s sebou retrofitting přináší.

Pro zjištění vhodnosti retrofitingu daným světelným zdrojem, byla provedena série měření. Tato měření jsou popsána a vyhodnocena v praktické části diplomové práce. Jedná se o měření všech světelných zdrojů v integrační kouli, na goniofotometru a pomocí jasového analyzátoru. Stejná měření byla provedena i pro svítidla osazeného právě těmito světelnými zdroji. Tato měření jsou členěna do jednotlivých podkapitol. Výsledné zhodnocení těchto měření se opírá o teoretickou řešerši obsaženou v první části diplomové práce. Výsledkem této diplomové práce je určení vhodnosti jednotlivých světelných zdrojů pro retrofitting daného svítidla v dané aplikaci.

Klíčová slova

ECO halogenová žárovka, jasová analýza, klasická žárovka, kompaktní zářivka, modelování, osvětlovací soustava, ReluxPRO, Retrofitting, žárovka LED classic, žárovka LED filament.

Abstract

The aim of this thesis is to review the possibilities of retrofitting various surface-mounted luminaires, specifically the surface-mounted luminaire by EMOS spol. s r.o. The first part of this thesis is focused on the comparison of individual light sources by means of multicriterial analysis and the theoretical consideration of possible effects of individual retrofits on the luminaire, respectively the lighting system. It points out the downsides and benefits of the retrofitting process.

A series of measurements was made to determine the retrofitting suitability of a given light source. These measurements are described and evaluated in the second part of the thesis. The series include measurements of specific light sources in an integrating sphere, utilizing a goniophotometer and a luminance analyzer, and the same measurements in the case of luminaires being fitted with these light sources. These measurements are divided into individual subchapters. The final evaluation of the measurements is based on the theoretical research contained in the first part of the thesis. The purpose of this thesis is to determine the suitability of individual light sources for the retrofitting process.

Key words

ECO halogen bulb, brightness analysis, bulb, compact bulb, modelling, lighting system, ReluxPRO, Retrofitting, LED bulb classic, LED bulb filament.

Obsah

Seznam použitých symbolů, zkratk a veličin	9
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
Úvod	13
1 Srovnání parametrů světelných zdrojů s klasickou žárovkou	14
1.1 Popis světelných zdrojů	14
1.1.1 Klasická žárovka a halogenová žárovka	14
1.1.2 Kompaktní zářivka	15
1.1.3 Světelné diody – LED	16
1.2 Kvalitativní a kvantitativní parametry světelných zdrojů s patičí E27	17
1.2.1 Světelný tok	17
1.2.2 Náhradní teplota chromatičnosti	17
1.2.3 Měrný světelný výkon	17
1.2.4 Index podání barev	18
1.2.5 Životnost světelného zdroje	18
1.2.6 Účinník (Power factor)	18
1.2.7 Příkon	19
1.2.8 Doba náběhu	19
1.2.9 Teplotní závislost	19
1.2.10 Závislost na počtu spínání	19
1.2.11 Geometrické rozměry	19
1.2.12 Cena	19
1.3 Porovnání parametrů světelných zdrojů s klasickou žárovkou	20
1.3.1 Katalogové hodnoty parametrů světelných zdrojů	20
1.3.2 Multikriteriální analýza	23
2 Chování různých světelných zdrojů v interiérovém svítidle s patičí E27	27
2.1 Popis interiérového svítidla EMOS	27
2.2 Změna příkonu vlivem retrofitingu	28
2.2.1 Elektrické změny	28
2.2.2 Teplotní změny	29
2.3 Změny ohniska a homogenity jasu vyzařovací plochy svítidla	31
2.3.1 Změny vyzařovací charakteristiky a účinnosti svítidla	32
2.4 Problematika prohlášení o shodě	33
3 Parametry interiérových osvětlovacích soustav	35
3.1 Modelování standardních osvětlovacích soustav	37

3.1.1	Využití softwaru pro světelně technické návrhy	37
3.2	Srovnání provedených světelně technických výpočtů.....	40
3.2.1	Popis modelované místnosti	40
3.2.2	Srovnání výsledků modelování	42
4	Porovnání vybraných světelných zdrojů měřením	45
4.1	Postup provedených měření	45
4.1.1	Měření s goniofotometrem	45
4.1.2	Měření v integrační kouli	47
4.1.3	Měření jasovým analyzátozem	48
4.2	Ověření parametrů světelných zdrojů s katalogovými údaji	49
4.3	Posouzení vyzařovacích charakteristik, oslnění a účinností svítidla	50
4.3.1	Vyzařovací charakteristiky a účinnost světelných zdrojů a svítidla.....	50
4.3.2	Oslnění	55
4.3.3	Tabulka srovnání naměřených hodnot	58
5	Srovnání vybraných svítidel měřením.....	59
5.1	Zhodnocení vhodnosti retrofitingu u jednotlivých světelných zdrojů.....	59
5.2	Celkové zhodnocení vlastností svítidel	63
6	Závěr	65
	Literatura	66
	Seznam elektronických příloh.....	69

Seznam použitých symbolů, zkratk a veličin

Zkratka	Vysvětlivka
AEB	Automatické posunutí expozice
CE	Značka shody
ČSN	Česká technická norma
ECO	Ekologický
EU	Evropská unie
ISO	Hodnota citlivosti
ldt	Přípona datového souboru
MCA	Multikriteriální analýza
Sb.	Sbírky
S r.o.	S ručením omezeným
Spol.	Společnost
VŠB – TUO	Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
WSA	Metoda váženého součtu
3D	Trojdimenzionální

Symbol	Název	Jednotka
P	Příkon	[W]
I	Proud	[A]
U	Napětí	[V]
$\cos \varphi$	Účinník	[-]
ϕ	Světelný tok	[lm]
T_c	Náhradní teplota chromatičnosti	[K]
η	Měrný světelný výkon	[lm/W]
R_a	Index podání barev	[-]
E	Osvětlenost	[lx]
E_{\min}	Minimální osvětlenost	[lx]
E_p	Průměrná osvětlenost	[lx]
U_0	Celková rovnoměrnost osvětleností	[-]
U_d	Podélná rovnoměrnost osvětleností	[-]
I_{\max}	Maximální svítivost	[cd]
L	Jas	[cd/m ²]
L_{\max}	Maximální jas	[cd/m ²]
L_{avg}	Průměrný jas	[cd/m ²]
R_{LO}	Provozní účinnost	[%]
$R_{\text{LO up}}$	Provozní účinnost horní poloprostor	[%]
$R_{\text{LO down}}$	Provozní účinnost dolní poloprostor	[%]
γ	Kritický úhel	[°]
N	Počet srovnání	[-]
ν_f	Stanovení vah	[%]
$u(a_1)$	Výsledná hodnota užítku	[-]
p	Maximální rozměr kroku sítě	[m]
d	Delší rozměr plochy	[m]
UGR	Činitel oslnění	[-]

Seznam obrázků

Obr. 1 – Halogenový cyklus [5].....	14
Obr. 2 – Princip kompaktní zářivky [7].....	15
Obr. 3 – Světelná dioda [10].	16
Obr. 4 – Klasická žárovka [14]	20
Obr. 5 – ECO halogenová žárovka [15].....	20
Obr. 6 – Kompaktní zářivka [15].....	21
Obr. 7 – LED žárovka filament [15].....	21
Obr. 8 – LED žárovka Classic [15].....	22
Obr. 9 – Graf užítu jednotlivých světelných zdrojů.	25
Obr. 10 – Přisazené svítidlo společnosti EMOS.....	27
Obr. 11 – Závislost světelného toku kompaktní zářivky na teplotě okolního prostředí [20].	29
Obr. 12 – Závislost světelného toku LED a doby svícení na pracovní teplotě [21].....	30
Obr. 13 – Světelné zdroje a jejich pozice ohniska [15].	31
Obr. 14 – Grafické znázornění tabulky 5 [22].....	31
Obr. 15 – Vyzařovací charakteristiky jednotlivých světelných zdrojů.	32
Obr. 16 – Vliv indexu podání barev na barevný vjem [26]	36
Obr. 17 – Dialogové okno volby oblasti modelování.	37
Obr. 18 – Prostředí v programu ReluxPRO	38
Obr. 19 – EasyLux formulář.....	39
Obr. 20 – Modelovaný prostor.	40
Obr. 21 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s klasickou žárovkou.	41
Obr. 22 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s ECO halogenovou žárovkou.	41
Obr. 23 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s kompaktní zářivkou.	41
Obr. 24 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s žárovkou LED filament.	42
Obr. 25 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s žárovkou LED classic.	42
Obr. 26 – Graf užítu jednotlivých svítidel v modelovaném prostoru.	43
Obr. 27 – Fotometrická lavice s přípravkem na ukotvení svítidla.	46
Obr. 28 – Dialogové okno před spuštěním testu.	46
Obr. 29 – Integrační koule.	47
Obr. 30 – Upevnění svítidla na fotometrické lavici a jasový analyzátor LMK se stativem.	48
Obr. 31 – Vyzařovací charakteristika klasické žárovky a svítidla s klasickou žárovkou.	50
Obr. 32 – Vyzařovací charakteristika halogenové žárovky a svítidla s halogenovou žárovkou	51
Obr. 33 – Vyzařovací charakteristika kompaktní zářivky a svítidla s kompaktní zářivkou.....	51
Obr. 34 – Vyzařovací charakteristika žárovky LED filament a svítidla s LED filament.....	52
Obr. 35 – Vyzařovací charakteristika žárovky LED classic a svítidla s LED classic	53
Obr. 36 – Jasová analýza klasické žárovky a svítidla s klasickou žárovkou.	55
Obr. 37 – Jasová analýza ECO halogenové žárovky a svítidla s ECO halogenovou žárovkou.	55
Obr. 38 – Jasová analýza kompaktní zářivky a svítidla s kompaktní zářivkou.	56
Obr. 39 – Jasová analýza žárovky LED filament a svítidla s žárovkou LED filament.....	56
Obr. 40 – Jasová analýza žárovky LED classic a svítidla s žárovkou LED classic.....	57

Seznam tabulek

Tab. 1 – Přehled a srovnání hodnot parametrů jednotlivých světelných zdrojů [15].	22
Tab. 2 – Fullerův trojúhelník.	24
Tab. 3 – Zvolené varianty s jednotlivými kritérii.	24
Tab. 4 – Definované minimální úhly clonění pro zvolené intervaly jasů zdrojů [22].	31
Tab. 5 – Vypočtené hodnoty parametrů osvětlovací soustavy v programu ReluxPRO.	42
Tab. 6 – Specifikace použitých přístrojů při měření s goniofotometrem.	45
Tab. 7 – Specifikace použitých přístrojů při měření v integrační kouli.	47
Tab. 8 – Specifikace použitých přístrojů při měření s jasovým analyzátozem.	48
Tab. 9 – Deklarované a naměřené hodnoty parametrů jednotlivých světelných zdrojů.	49
Tab. 10 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s klasickou žárovkou.	50
Tab. 11 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s ECO halogenovou žárovkou.	51
Tab. 12 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s kompaktní zářivkou.	52
Tab. 13 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s LED filament.	52
Tab. 14 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s LED classic.	53
Tab. 15 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s klasickou žárovkou.	55
Tab. 16 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s ECO halogenovou žárovkou.	55
Tab. 17 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s kompaktní zářivkou.	56
Tab. 18 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s žárovkou LED filament.	56
Tab. 19 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s žárovkou LED classic.	57
Tab. 20 – Naměřené hodnoty parametrů světelných zdrojů a svítidla s těmito zdroji.	58

Úvod

V posledních letech se otázka snižování elektrické spotřeby a tím zvyšování úspor dotýká také osvětlovacích soustav. Snahou je snížit energetickou náročnost osvětlovacích soustav na minimum, při zachování původních parametrů osvětlovací soustavy. Tím je dosažen ekologičtější a hospodárnější provoz. Z tohoto důvodu se těší velké oblibě nahrazování klasických světelných zdrojů těmi úspornějšími. Důsledkem nahrazení původního zdroje uvnitř stávajícího svítidla, dochází k ovlivnění některých parametrů soustavy. Proto je nutné před jakoukoliv náhradou světelného zdroje uvážit vhodnost této náhrady. Respektive jakým způsobem se nový světelný zdroj bude chovat v daném svítidle a jakým způsobem bude tato náhrada ovlivňovat parametry osvětlovací soustavy. Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnotit možnost retrofitingu přisazeného svítidla společnosti EMOS spol. s r.o.

První kapitola obsahuje popis jednotlivých světelných zdrojů. Ty jsou použity v celé diplomové práci pro zhodnocení jejich vlivu na svítidlo, respektive osvětlovací soustavu. Jsou zde popsány parametry definující vlastnosti těchto světelných zdrojů a následně jejich multikriteriální srovnání dle popsaných parametrů.

Druhá kapitola stručně popisuje parametry dodaného svítidla. Analyzuje vliv jednotlivých světelných zdrojů na toto svítidlo. Teoreticky popisuje, jaké změny nastanou a jak velké tyto změny mohou být. Tato kapitola je zakončena problematikou prohlášení o shodě.

Z pohledu vlivu jednotlivých světelných zdrojů na osvětlovací soustavu je nutné provést světelně technický návrh. Této problematice se věnuje třetí kapitola diplomové práce. Pojednává o základních parametrech osvětlovací soustavy, které jsou dány normou ČSN EN 12 464-1. Následuje popis postupu i praktické modelování v programu ReluxPRO. Z programu jsou následně exportovány výsledky v podobě reportu. Poslední podkapitola se zabývá zhodnocením vlivu jednotlivých světelných zdrojů na osvětlovací soustavu. Následně je provedeno porovnání světelně technických návrhu za pomoci multikriteriální analýzy.

V praktické části je popsáno měření provedené k porovnání světelně technických parametrů jednotlivých světelných zdrojů a určení vhodnosti retrofitingu. V první kapitole praktické části je realizováno ověření deklarovaných parametrů světelných zdrojů pomocí měření a následné posouzení vyzářovacích charakteristik, účinností a rozložení jasu jednotlivých svítidel.

Pátá kapitola obsahuje zhodnocení vhodnosti retrofitingu u jednotlivých světelných zdrojů, kde jsou popsány jejich výhody a nevýhody, které vyplývají z teoretické znalosti a měření. Následuje celkové zhodnocení ze všech úhlů pohledu, jako je změna vyzářovací charakteristiky, příkonu, měrného výkonu, rozložení jasu a další.

1 Srovnání parametrů světelných zdrojů s klasickou žárovkou

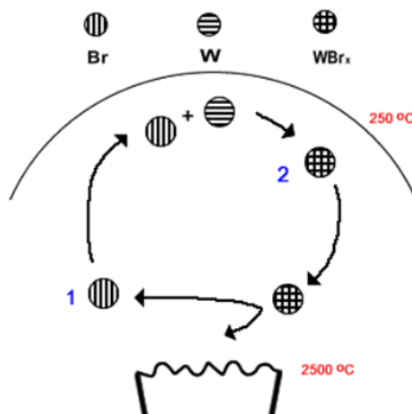
Při srovnávání světelných zdrojů je nutné vycházet z parametrů, které je definují. Tyto parametry jsou obsaženy v produktových listech jednotlivých světelných zdrojů. Hodnoty parametrů vychází především z podstaty principu přeměny elektrické energie na světelnou. Proto je nutné uvědomit si, jakým způsobem dochází u jednotlivých světelných zdrojů k produkci světla [1].

1.1 Popis světelných zdrojů

1.1.1 Klasická žárovka a halogenová žárovka

Klasické žárovky patří mezi teplotní zdroje světelného záření. Toto záření je generováno rozžhavenou pevnou látkou. U žárovek je to konkrétně wolframové vlákno. Průchodem proudu tímto vláknem dochází k rozžhnutí tohoto vlákna, což je zdrojem světelného záření. Toto záření má spojité spektrum, což je charakteristické pro teplotní zdroje. Oproti tomu je pro teplotní zdroje charakteristická velmi nízká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou a s tím spojený nízký měrný světelný výkon těchto zdrojů. U klasické žárovky se měrný světelný výkon pohybuje v intervalu 10 – 15 lm/W. Dalšími značnými nevýhodami klasických žárovek jsou relativně nízká životnost (kolem 1 tis. hodin), pokles vyzařovaného světelného toku během života zdroje, značná závislost parametrů zdroje na napájecím napětí a černání baňky vlivem vypařování a následném ulpívání wolframu na baňce. Mezi hlavní výhody klasických žárovek patří jejich jednoduchá konstrukce, již zmiňované spojité spektrum, podání barev $R_a = 100$ a cena [1] [2] [3].

Halogenové žárovky jsou z principu generování světelného záření obdobou klasických žárovek. Zdokonalením je však plnění baňky plynem s příměsí halových prvků, popřípadě jejich sloučenin. Díky těmto plynům nastává tzv. halogenový cyklus (Obr. 1). Wolfram se vlivem teploty vypařuje a následně se slučuje s halogeny u baňky, kde je nižší teplota. Tato sloučenina pak putuje zpět k vláknu, kde vlivem teploty roztáhne opět na wolfram a halogen, který je opět součástí reakce. Díky tomu u halogenových žárovek, oproti klasickým žárovkám, nedochází k ulpívání odpařeného wolframu na baňce zdroje. Naopak dochází ke zvýšení stability světelného toku a tedy ke zvýšení životnosti tohoto zdroje. Mezi hlavní výhody halogenových žárovek tedy patří vyšší měrný světelný výkon (12 – 20 lm/W), delší život zdroje (kolem 2 tis. hodin) a stabilní světelný tok po celou dobu života zdroje [3] [4] [5] [6].

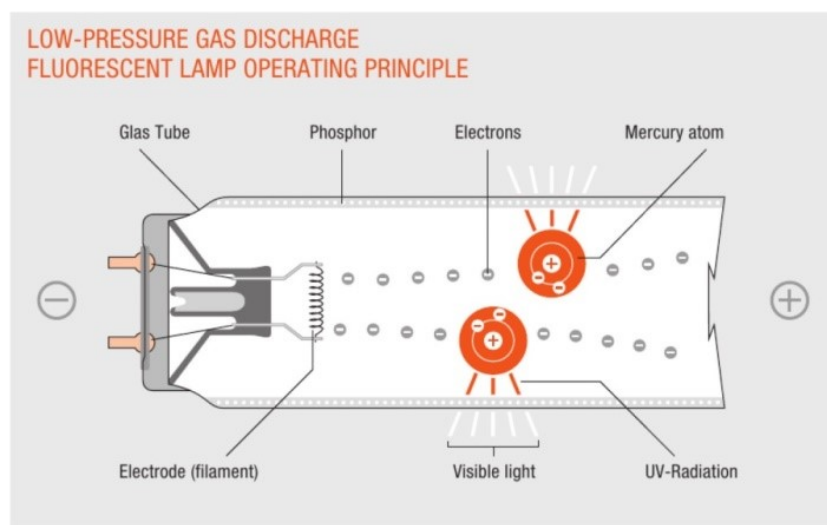


Obr. 1 – Halogenový cyklus [5].

1.1.2 Kompaktní zářivka

Princip fungování kompaktní zářivky je podobný jako princip fungování lineární zářivky (Obr. 2). Respektive je založen na principu nízkotlakého výboje. Z tohoto důvodu se jedná o nízkotlakou rtuťovou výbojku. Jelikož při výboji dochází výhradně k emisi ultrafialového záření, které je pro člověka neviditelné, je nutné transformovat toto záření do oblasti viditelného záření. K tomuto účelu slouží vrstvy luminoforu, buzené právě tímto ultrafialovým zářením. Díky tomuto luminoforu je dominantní část světla vyzařována právě vrstvou luminoforu. Druhem tohoto luminoforu je možné docílit rozličného indexu podání barev, ale i barevného odstínu světla. Charakteristickým rysem kompaktních zářivek je provedení s jednou patičkou a malé obrysové rozměry. Malých obrysových rozměrů je dosaženo vhodnou konfigurací zářivkové trubice [3].

Mezi hlavní výhody kompaktních zářivek patří vysoký měrný světelný výkon, který dosahuje hodnot až okolo 90 lm/W. Výborný index podání barev, který je vyšší než 80 a u speciálních kompaktních žárovek dosahuje až hodnot 90. Oproti žárovkám je výhodou i vyšší doba života. Ta se pohybuje v rozmezí 10 tis. – 20 tis. hodin. Díky různým typům luminoforu je možné obsáhnout náhradní teploty chromatičnosti v intervalu 2700 K – 6500 K. Kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem dosahují téměř okamžitého startu, bez blikání a s potlačením stroboskopického jevu. Mezi jejich hlavní nevýhody patří teplotní závislost těchto zdrojů, značný vliv počtu zapínání na životnost zdroje a obsah rtuti [3].

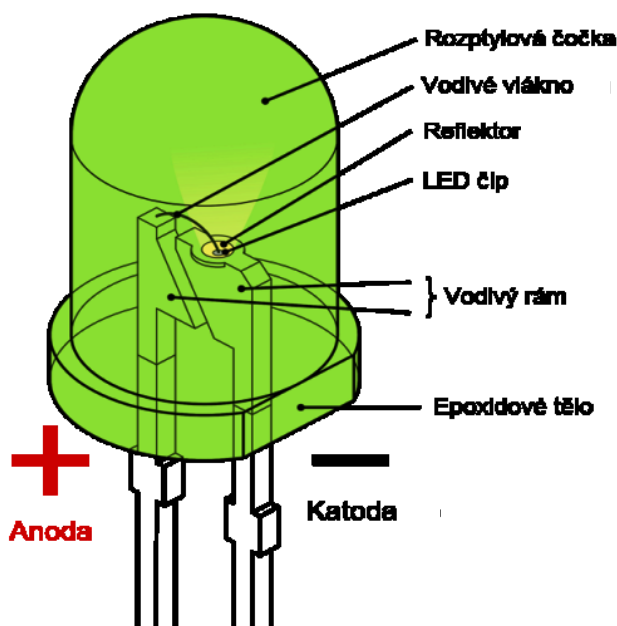


Obr. 2 – Princip kompaktní zářivky [7].

1.1.3 Světelné diody – LED

LED (**L**ight **E**mitting **D**iode – Světlo emitující dioda) jsou definovány jako elektronické prvky, vyzařující světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem PN. Jedná se tedy o světelné zdroje využívající princip luminiscence, při které dochází k emisi kvanta zbytkové energie. Jelikož polovodičový přechod emituje pouze úzké spektrum záření, považuje se toto záření za monochromatické. Z tohoto důvodu je pro osvětlení důležité vytváření bílého světla. To nastává dvěma způsoby. První z nich je tzv. konvertor vlnových délek. Jedná se o vrstvu materiálu, který převádí světelné záření z kratších vlnových délek (oblast modrá) na světelné záření delších vlnových délek (oblast viditelná). Druhým principem je mísení monochromatických LED. Dle požadavků na kvalitu světla dochází k mísení dvou nebo tří monochromatických LED. Nevýhodou tohoto principu je rozdílná účinnost jednotlivých LED. Konstrukce světelné diody je na obrázku (Obr. 3) [2] [6] [8].

Nespornou výhodou LED světelných zdrojů je jejich vysoký měrný světelný výkon. Ten by měl po ukončení vývoje přesahovat 200 lm/W. V současné době se pohybuje měrný světelný výkon v intervalu 50 – 140 lm/W [9]. Další nespornou výhodou je životnost takového světelného zdroje. U LED světelných zdrojů s patičí E27, je dle výrobců deklarována nejčastější hodnota životnosti 15 tis. hodin. Ovšem na trhu jsou i LED světelné zdroje s patičí E27, které mají deklarovanou dobu životnosti 30 tis. hodin. Tento fakt je však velmi úzce spjatý s teplotou okolí, což je velká nevýhoda světelných zdrojů LED. Je nutné je chladit. Při průchodu proudu polovodičovým přechodem dochází k výraznému zahřívání tohoto přechodu. Z hlediska indexu podání barev se LED světelné zdroje pohybují v hodnotách 80 a vyšší [3].



Obr. 3 – Světelná dioda [10].

1.2 Kvalitativní a kvantitativní parametry světelných zdrojů s patičí E27

Každý světelný zdroj, ale i svítidlo, je popisováno parametry, které definují jejich světelně technické vlastnosti. Z hlediska významu je možné rozdělit tyto parametry světelných zdrojů na kvalitativní a kvantitativní. Kvantitativními parametry světelných zdrojů jsou vyzařovaný světelný tok a elektrický příkon. Pro možnost srovnání světelných zdrojů je zásadní veličinou měrný světelný výkon. Mezi kvalitativní parametry světelných zdrojů, lze zařadit délka života těchto zdrojů, index podání barev a stálost světelně technických parametrů. [1]

Tyto parametry se řadí k základním parametrům popisujících vlastnosti světelných zdrojů. Velmi důležitými jsou ovšem i geometrické rozměry, druh použité patice, dovolená provozní poloha světelného zdroje, napětí, provozní teplota zdroje a další. [2]

1.2.1 Světelný tok

- Symbol – ϕ a jednotka – lumen (lm)
- Veličina určující, kolik světelné energie vyzaří světelný zdroj, s ohledem na citlivost lidského oka na různé vlnové délky světla, za jednotku času [1].
- Jedná se tedy o zářivý tok, který vyzaří světelný zdroj, posouzený z hlediska citlivosti lidského oka [2].
- Hodnota této fotometrické veličiny je dána druhem a typem světelného zdroje. Tato hodnota je vytištěna na zadní straně obalu daného typu světelného zdroje nebo v jeho katalogu [1].

1.2.2 Náhradní teplota chromatičnosti

- Symbol – T_c a jednotka – kelvin (K)
- Jedná se o veličinu, popisující barevné vlastnosti světla.
- Jedná-li se o teplotní světelné zdroje, je teplota chromatičnosti rovna teplotě vlákna žárovky.
- U výbojových světelných zdrojů a elektroluminiscenčních je zaveden pojem náhradní teplota chromatičnosti. Ta je ekvivalentem k teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový (elektroluminiscenční) světelný zdroj.
- S měnící se teplotou chromatičnosti tedy dochází ke změně barvy světla. Rozlišujeme tři základní kategorie barvy světla [1] [2]:
 - Teplá bílá < 3 300 K
 - Bílá 3 300 ÷ 5 000 K
 - Denní > 5 000 K

1.2.3 Měrný světelný výkon

- Symbol – η a jednotka – lumen/watt (lm/W)
- Veličina, jež je mírou přeměny elektrické energie na světelnou.
- Pomocí této veličiny dochází k definici vztahu mezi elektrickým příkonem světelného zdroje a vyprodukovaným světelným tokem téhož zdroje.
- Teoretické maximum vypočtené pro fotopické vidění je 683 lm/W, avšak neúčinnější světelné zdroje dosahují měrného světelného výkonu kolem 200 lm/W [1] [2].

1.2.4 Index podání barev

- Symbol – R_a a jednotka – není (-)
- Tato veličina udává, jak je člověk schopen pod daným spektrem záření světelného zdroje, věrně vnímat barvy osvětlených předmětů.
- Hodnota R_a se pohybuje v intervalu 0 – 100, kde 100 je rovna slunečnímu svitu a zde je tedy člověk schopen rozeznat barvy osvětlených předmětů nejvěrohodněji. Oproti tomu $R_a = 0$ značí, že člověk není schopen rozeznat jednotlivé barvy osvětlovaných předmětů.
- Hodnota indexu podání barev je získávána, jako průměr hodnot indexů podání 14 zkušebních barevných vzorků.
- Nejvyšší hodnoty R_a z umělých světelných zdrojů dosahují klasické žárovky, naopak nejnižších zdroje monochromatického záření (např. nízkotlaká sodíková výbojka) [1] [12].

1.2.5 Životnost světelného zdroje

- Parametr určující dobu, po kterou bude daný světelný zdroj hospodárně svítit.
- U teplotních zdrojů je životnost určena přepálením vlákna.
- U zdrojů jiných než teplotních nestačí pouze tato definice, jelikož dochází k poklesu světelného toku během života tohoto světelného zdroje. Po určitém čase svítí světelný zdroj nehospodárně a je potřebná výměna. Proto v těchto případech rozlišujeme dvě definice životnosti:
 - *Průměrná životnost* – definuje dobu, po jejíž uplynutí bude svítit přesně polovina ze sledovaného množství světelných zdrojů. Během této doby dochází k postupnému ubývání funkčních světelných zdrojů. Tento fakt popisuje křivka úmrtnosti světelných zdrojů.
 - *Užitečná životnost* – jelikož během fungování světelných zdrojů dochází k postupnému poklesu vyzařovaného světelného toku, je nutné zavést pojem užitečná životnost. Udává po jakou dobu je provozování daného světelného zdroje hospodárné. Konec užitečného života nastává tehdy, pokud světelný tok vyzařovaný světelným zdrojem poklesne pod hranici 80 % hodnoty světelného toku na počátku [1] [2].

1.2.6 Účinník (Power factor)

- Symbol – $\cos \varphi$ a jednotka – není (-)
- Jedná se o parametr určující poměr mezi činným a zdánlivým výkonem.
- Účinník definuje, jaké množství zdánlivého výkonu je možné přeměnit na užitečnou energii.
- Pohybuje se v intervalu hodnot 0 ÷ 1. Čím je hodnota účinníku blíže k jedné, tím je menší posun mezi napětím a proudem a tím více energie je možné přeměnit na energii užitečnou. Je-li účinník roven 0, jedná se o zátěž čistě induktivní nebo čistě kapacitní a fázový posuv je $\pm 90^\circ$ [13].

1.2.7 Příkon

- Symbol – P a jednotka – watt (W)
- Příkon světelného zdroje, je definován, jako elektrický příkon odebíraný ze sítě, potřebný pro správné fungování zdrojů a pokrytí ztrát vzniklých v předřadných přístrojích
- Tento parametr je mírou energetické náročnosti světelného zdroje [3].

1.2.8 Doba náběhu

Jedná se o dobu, která uplyne od okamžiku zapnutí světelného zdroje do doby, kdy světelný zdroj vyzařuje plný světelný tok. U kompaktních zářivek se tato doba pohybuje v řádech jednotek až desítek sekund. U klasické žárovky se pokládá náběh za okamžitý.

1.2.9 Teplotní závislost

Některé světelné zdroje se vyznačují poměrně výraznou teplotní závislostí. U těchto světelných zdrojů dochází vlivem změny teploty okolí, k poklesu světelného toku a životnosti. Z tohoto důvodu jsou u těchto světelných zdrojů uváděny intervaly provozních teplot. Této problematice se více zabývá kapitola 2.

1.2.10 Závislost na počtu spínání

Stejně jako u teplotní závislosti, existují světelné zdroje, které jsou závislé na počtu spínacích cyklů. Za takový cyklus se považuje počet sepnutí a vypnutí, jakožto jeden cyklus. U těchto světelných zdrojů dochází ke zhoršení jejich parametrů s rostoucím počtem těchto cyklů.

1.2.11 Geometrické rozměry

Parametr určující především vhodnost světelného zdroje z hlediska prostoru v daném svítidle. Vlivem změny geometrických rozměrů dochází ke změně pozice ohniska v daném svítidle, což má vliv na parametry svítidla. Dále je vhodným parametrem pro posouzení estetické stránky osvětlovací soustavy. Tento údaj je uveden na krabičkách světelných zdrojů a v jejich katalozích.

1.2.12 Cena

Pořizovací cena světelného zdroje je důležitým parametrem pro porovnávání jednotlivých světelných zdrojů mezi sebou. Především u laické veřejnosti je jedním z nejdůležitějších.

1.3 Porovnání parametrů světelných zdrojů s klasickou žárovkou

Pro multikriteriální porovnání parametrů jsem využil světelné zdroje společnosti EMOS spol. s r.o. a klasickou žárovku od firmy OSRAM. Konkrétně se jedná o ECO halogenovou žárovku, kompaktní zářivku, LED classic a LED filament. Parametry těchto zdrojů jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1).

Pro porovnání parametrů jsem využil dvou metod. Jednou z metod je srovnání parametrů v tabulce, kde je pro každý parametr vyhodnocen nejlepší světelný zdroj. Druhou metodou je tzv. multikriteriální analýza.

1.3.1 Katalogové hodnoty parametrů světelných zdrojů

Klasická žárovka

Jedná se o žárovku OSRAM CLASSIC A 75W E27.

• Příkon:	75 W
• Světelný tok:	935 lm
• Teplota chromatičnosti:	2700 K
• Měrný světelný výkon:	13 lm/W
• Životnost:	1000 h
• Počet spínacích cyklů:	1 000 000
• Index podání barev:	100
• Napětí:	230 V
• Doba náběhu	0 s
• Účinník	1
• Cena:	13 Kč



Obr. 4 – Klasická žárovka [14]

ECO halogenová žárovka

Jedná se o halogenovou žárovku ECO A55 53W E27 [15].

• Příkon:	53W
• Světelný tok:	840 lm
• Teplota chromatičnosti:	2700 K
• Měrný světelný výkon:	16 lm/W
• Životnost:	2000 h
• Počet spínacích cyklů:	100 000
• Index podání barev:	100
• Napětí:	230 V
• Doba náběhu	0 s
• Účinník	1
• Cena:	29 Kč
• <i>Náhrada za žárovku:</i>	69 W



Obr. 5 – ECO halogenová žárovka [15].

Kompaktní zářivka

Jedná se o kompaktní zářivku HALF SPIRAL T2 E14 15W [15].

- Příkon: **15 W**
- Světelný tok: **880 lm**
- Teplota chromatičnosti: **2700 K**
- Měrný světelný výkon: **59 lm/W**
- Životnost: **10000 h**
- Počet spínacích cyklů: **40000**
- Index podání barev: **$Ra > 80$**
- Napětí: **230 V**
- Doba náběhu: **10 s**
- Účinnost: **0,58**
- Cena: **79 Kč**
- *Náhrada za žárovku:* **69 W**



Obr. 6 – Kompaktní zářivka [15].

LED žárovka filament

Jedná se o LED žárovku Filament A60 A++ 8W E27 [15].

- Příkon: **8 W**
- Světelný tok: **1060 lm**
- Teplota chromatičnosti: **2700 K**
- Měrný světelný výkon: **132 lm/W**
- Životnost: **25 000 h**
- Počet spínacích cyklů: **15 000**
- Index podání barev: **$Ra > 80$**
- Napětí: **230 V**
- Doba náběhu: **0 s**
- Účinnost: **0,5**
- Cena: **109 Kč**
- *Náhrada za žárovku:* **75 W**



Obr. 7 – LED žárovka filament [15].

LED žárovka

Jedná se o LED žárovku Classic A60 10,5W E27 [15].

- Příkon: **10,5 W**
- Světelný tok: **1060 lm**
- Teplota chromatičnosti: **2700 K**
- Měrný světelný výkon: **101 lm/W**
- Životnost: **30 000 h**
- Počet spínacích cyklů: **25 000**
- Index podání barev: **$R_a > 80$**
- Napětí: **230 V**
- Doba náběhu: **0 s**
- Účinník: **0,5**
- Cena: **89 Kč**
- *Náhrada za žárovku:* **75 W**



Obr. 8 – LED žárovka Classic [15]

Tab. 1 – Přehled a srovnání hodnot parametrů jednotlivých světelných zdrojů [15].

Parametr	Světelný zdroj				
	Žárovka	ECO ž.	Kom. zář.	LED fil.	LED classic
Příkon [W]	75	53	15	8	10,5
Světelný tok [lm]	935	840	880	1060	1060
Měrný světelný v. [lm/W]	13	16	59	132	101
Životnost [h]	1000	2000	10000	25000	30000
Počet spín. Cyklů [-]	1000000	100000	40000	15000	25000
Index podání barev [-]	100	100	80	80	80
Doba náběhu [s]	0	0	10	0	0
Účinník [-]	1	1	0,58	0,5	0,5
Cena (Kč)	13	29	79	109	89

Pro přehlednost a možnost viditelnějšího srovnání jsou parametry jednotlivých zdrojů seřazeny v tabulce (Tab. 1). Takovéto srovnání je rychlé a přehledné. Lze okamžitě zjistit, který z uvedených zdrojů má nejideálnější hodnotu posuzovaného parametru. V tabulce (Tab. 1) jsou žlutě vyznačeny zdroje, které mají hodnotu daného parametru nejlepší. Lze si povšimnout, že klasická žárovka má nejlepší hodnoty hned u pěti parametrů, zatímco kompaktní zářivka u žádného z parametrů. Tato metoda srovnání je objektivní, ovšem není komplexní, tak jako multikriteriální analýza – viz níže. Ta do srovnání vnáší hodnoty preferencí jednotlivých parametrů pro posouzení nejvhodnějšího z posuzovaných zdrojů. Díky těmto preferencím se dá zjistit nejvhodnější světelný zdroj s ohledem na všechny zvolené parametry. Je výhradně na posuzovateli, který z parametrů uvede do multikriteriální analýzy a jakou preferenci jednotlivým parametrům zvolí. Preference jsou dány aplikací, ve které jsou světelné zdroje použity.

1.3.2 Multikriteriální analýza

Multikriteriální analýza slouží k porovnání většího počtu variant řešení dané problematiky s ohledem na libovolně zvolené množství a charakter kritérií. Díky této analýze je možné zajistit kompromisní varianty a seřadit je podle jejich výhodnosti. Začátek každé multikriteriální analýzy spočívá ve zvolení kritérií určených variant a sestavení kritériální matice. Prvky matice reprezentují hodnoty kritérií pro jednotlivě zvolené varianty [16].

	P	ϕ	η	Živ.	PSC	Ra	DN	$\cos\phi$	Cena
	(W)	(lm)	(lm/W)	(h)	(tis.)	(-)	(s)	(-)	(Kč)
Y = Varianta I.	75	935	13	1000	1000	100	0	1	13
Varianta II.	53	840	16	2000	100	100	0	1	29
Varianta III.	15	880	59	10000	40	80	10	0,58	79
Varianta IV.	8	1060	132	25000	15	80	0	0,5	109
Varianta V.	10,5	1060	101	30000	25	80	0	0,5	89

Pozn.: P – příkon, ϕ – světelný tok, η – měrný světelný výkon, Živ. - životnost, PSC – počet spínacích cyklů, Ra – index podání barev, DN – doba náběhu, $\cos\phi$ – účinník.

a) Stanovení vah

Kritéria:

1) f_1 = Příkon	(W)	Minimalizační kritérium
2) f_2 = Světelný tok	(lm)	Maximalizační kritérium
3) f_3 = Měrný světelný výkon	(lm/W)	Maximalizační kritérium
4) f_4 = Životnost	(h)	Maximalizační kritérium
5) f_5 = Počet spínacích cyklů	(-)	Maximalizační kritérium
6) f_6 = Index podání barev	(-)	Maximalizační kritérium
7) f_7 = Cena	(Kč)	Minimalizační kritérium
8) f_8 = Doba náběhu	(s)	Minimalizační kritérium
9) f_9 = účinník	(-)	Maximalizační kritérium

Pro stanovení vah lze využít metodu párového srovnání. Metoda je založena na subjektivním rozhodnutí, které z dvou posuzovaných kritérií je důležitější. Počet takových srovnání je dán vztahem (1.1):

$$N = \binom{k}{2} = k \cdot \frac{(k-1)}{2} \quad (1.1)$$

Srovnání je provedeno v tzv. Fullerově trojúhelníku (Tab. 2). V něm se porovnají jednotlivé parametry mezi sebou. Číslice 1 je vyplněna v případě, že má dané kritérium v daném sloupci vyšší preferenci než v daném řádku a číslice 0 v právě opačném případě. Po zvolení preferencí se ze vztahu (1.2) získá hodnota váhy [16]:

$$v_{f1} = \frac{n_{f1}}{N} \quad (1.2)$$

Tab. 2 – Fullerův trojúhelník.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
f_1		0	1	0	0	0	0	0	0
f_2	1		1	1	0	0	1	0	1
f_3	0	0		0	0	0	0	0	0
f_4	1	0	1		0	0	0	0	0
f_5	1	1	1	1		0	1	1	1
f_6	1	1	1	1	1		1	1	1
f_7	1	0	1	1	0	0		1	1
f_8	1	1	1	1	0	0	0		0
f_9	1	0	1	1	0	0	1	1	
Počet bodů	7	3	8	6	1	0	3	4	4
Váha kritéria [%]	19,4	8,3	22,2	16,7	2,8	0	8,3	11,1	11,1

b) *Sestavení normalizované kritériální matice*

V níže uvedené tabulce jsou vyneseny varianty se zvolenými kritérii.

Tab. 3 – Zvolené varianty s jednotlivými kritérii.

Parametr	Varianta				
	I.	II.	III.	IV.	V.
Příkon [W]	75	53	15	8	10,5
Světelný tok [lm]	935	840	880	1060	1060
Měrný světelný v. [lm/W]	13	16	59	132	101
Životnost [h]	1000	2000	10000	25000	30000
Počet spín. cyklů [-]	1000000	100000	40000	15000	25000
Index podání barev [-]	100	100	80	80	80
Doba náběhu [s]	0	0	10	0	0
Účinnost [-]	1	1	0,58	0,5	0,5
Cena [kč]	13	29	79	109	89

Varianta I. – klasická žárovka,

Varianta II. – ECO halogenová žárovka,

Varianta III. – kompaktní zářivka,

Varianta IV. – žárovka LED filament,

Varianta V. – žárovka LED classic

Po sestavení Fullerova trojúhelníku a zjištění vah jednotlivých kritérií lze přistoupit k samotnému vyhodnocení spočívající v určení nejvhodnější z variant. Pro zajištění výsledné nejvhodnější varianty jsem využil metodu váženého součtu (WSA) vycházející z principu maximalizace užítka [16]. Tato metoda spočívá v přeměně kritériální matice na normalizovanou

kritériální matici s použitím transformačních vztahů (1.3 a 1.4). Jedná-li se o kritérium maximalizační použije se vzorec 1.3, pokud se jedná o kritérium minimalizační, použije se vzorec 1.4 [16].

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \Rightarrow \text{Tento vztah je pro maximalizační kritéria } \phi, \eta, \text{životnost,} \quad (1.3)$$

počet spín. cyklů, Ra, účinník.

$$r_{ij} = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j} \Rightarrow \text{Tento vztah je pro minimalizační kritéria } P, \text{Cena, doba náběhu} \quad (1.4)$$

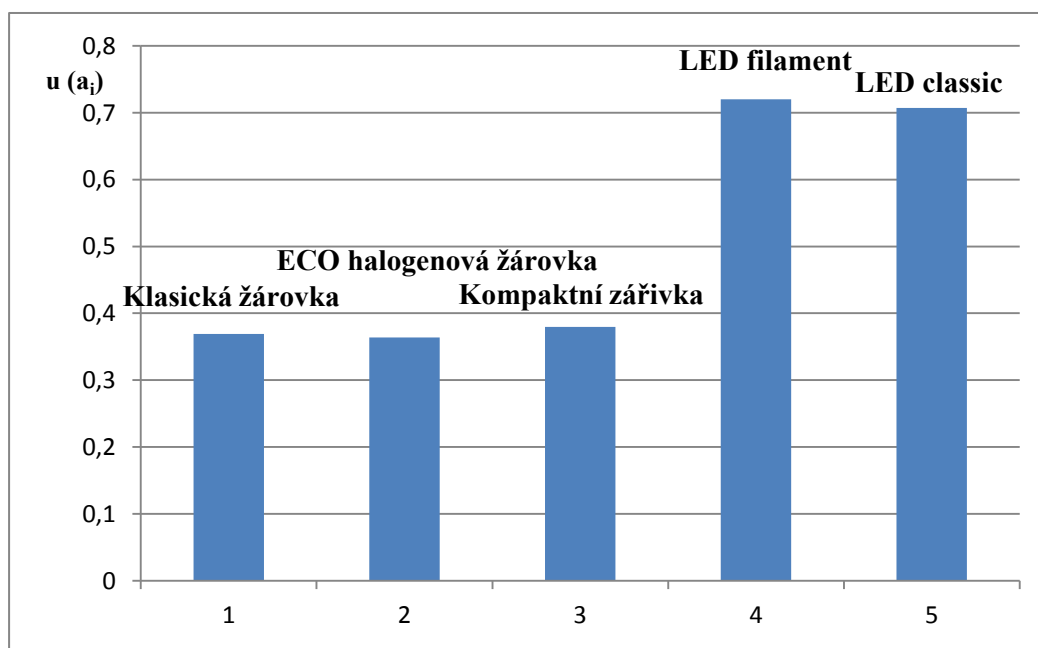
Pak normalizovaná kritériální matice má tvar:

$$R = \begin{matrix} \text{Varianta I.} \\ \text{Varianta II.} \\ \text{Varianta III.} \\ \text{Varianta IV.} \\ \text{Varianta V.} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0,43 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,33 & 0 & 0,03 & 0,04 & 0,09 & 1 & 1 & 1 & 0,83 \\ 0,90 & 0,18 & 0,39 & 0,31 & 0,03 & 0 & 0 & 0,16 & 0,31 \\ 1 & 1 & 1 & 0,83 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,96 & 1 & 0,74 & 1 & 0,01 & 0 & 1 & 0 & 0,21 \end{bmatrix}$$

Výsledná hodnota užítku

Výslednou hodnotu užítku lze získat ze vztahu 1.5. Varianta s nejvyšší hodnotou užítku je brána jako nejvýhodnější (1.5) [16]:

$$u(a_1) = \sum_{j=1}^k r_{ij} \cdot v_j \quad (1.5)$$



Obr. 9 – Graf užítku jednotlivých světelných zdrojů.

Srovnání dodaných světelných zdrojů jsem provedl za pomoci multikriteriální analýzy. Konkrétně se jednalo o následující zdroje: klasická žárovka, ECO halogenová žárovka, kompaktní zářivka, žárovka LED filament a žárovka LED classic. Parametry těchto zdrojů jsou dostupné v produktových katalogových listech. Pro zajištění vah jednotlivých parametrů jsem využil Fullerova trojúhelníku (Tab. 2). Dle této tabulky vyplývá, že nejvyšší váhu má měrný výkon, příkon a životnost. Naopak nejmenší váhu mají parametry indexu podání barev a počtu spínacích cyklů i přesto, že index podání barev je jeden z nejdůležitějších parametrů. Váhy jsou výsledkem zvolených preferencí při párovém srovnání. Nejmenší váha indexu podání barev je dána faktem, že všechny světelné zdroje splňují podmínku hodnoty indexu podání barev pro hygienické minimum ($R_a = 80$). Výsledek provedené multikriteriální analýzy je vyneseno na obrázku (Obr. 9). Z tohoto obrázku je patrné, že nejlepším zdrojem je žárovka LED filament. Oproti tomu nejhorším je ECO halogenová žárovka. Tento výsledek se dá vysvětlit určenými váhami jednotlivých parametrů a jejich rozdíly. Celý postup včetně výpočtů je obsažen v příloze.

Je nutné si uvědomit, že multikriteriální analýza slouží k porovnání více variant s danými kritérii s ohlednutím na preference porovnavatele. Z postupu výše uvedeného je patrné, že velký vliv na výsledek mají právě preference porovnavatele, které se volí ve Fullerově trojúhelníku (Tab. 2). Při posuzování pomocí multikriteriální analýzy je pouze na porovnavateli, která kritéria v ní obsáhne. Odvíjí se to především od předpokládané aplikace světelných zdrojů. Z toho vyplývá, že při různých aplikacích světelných zdrojů budou voleny pro konkrétní kritéria různé váhy.

Příklady výpočtů:

Počet srovnání

$$N = \binom{k}{2} = k \cdot \frac{(k-1)}{2} = 9 \cdot \frac{(9-1)}{2} = 36$$

Stanovení vah

$$v_{f1} = \frac{n_{f1}}{N} = \frac{7}{36} = 19,4 \%$$

Maximalizační vztah

$$r_{12} = \frac{y_{12} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{935 - 840}{1060 - 840} = 0,33$$

Minimalizační vztah

$$r_{11} = \frac{H_1 - y_{11}}{H_1 - D_1} = \frac{75 - 75}{75 - 8} = 0$$

Výsledná hodnota užítku

$$\begin{aligned} u(a_1) &= \sum_{j=1}^k r_{ij} \cdot v_j = 0 \cdot \frac{7}{36} + 0,43 \cdot \frac{3}{36} + 0 \cdot \frac{8}{36} + 0 \cdot \frac{6}{36} + 1 \cdot \frac{1}{36} + 1 \cdot \frac{0}{36} + 1 \cdot \frac{3}{36} + 1 \cdot \frac{4}{36} + 1 \cdot \frac{4}{36} \\ &= 0,37 \end{aligned}$$

2 Chování různých světelných zdrojů v interiérovém svítidle s paticí E27

V této kapitole rozebírám možné vlivy různých světelných zdrojů na svítidlo s paticí E27. Zmiňuji vlivy elektrické, tepelné, vlivy na vyzařovací charakteristiku a také na účinnost svítidla. V poslední podkapitole se věnuji prohlášení o shodě, které je potřebné pro uvedení výrobku na trh.

2.1 Popis interiérového svítidla EMOS

Pro posouzení vlivu různých světelných zdrojů na svítidlo, bylo určeno technické svítidlo, EMOS spol. s r.o., pro normální provoz. Z hlediska poměru světelného toku, který svítidlo vyzáří do dolního a horního poloprostoru, se jedná o svítidlo přímé. Jak je z obrázku (Obr. 10) patrné, svítidlo je tvořené z umělohmotné nosné konstrukce, na níž je připevněna svorkovnice, s paticí E27, pro přivedení napájení pro světelný zdroj. V prostoru upevnění světelného zdroje se nachází reflektorová část, sloužící pro usměrnění světelného toku vyzářeného světelným zdrojem do horní části svítidla. Optická část svítidla je tvořena mléčným skleněným difuzorem, sloužícím k potřebné distribuci světelného toku.

- | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------------------------|-------------|
| • Označení: | ZM2401 | • Napětí: | 220-240 V |
| • Barva těla: | Bílá | • Příkon: | max. 60W |
| • Pohybový senzor: | Ne | • Materiál difuzoru: | Sklo |
| • Možnost stmívání: | Ne | • Krytí: | IP20 |
| • Úhel vyzařování: | 180° | • Zdroj světla: | Objímka E27 |
| • Typ svítidla: | Přisazené | • Rozměry: | 280x100 mm |
| • Tvar: | Kruh | • Typ difuzoru: | Mléčný |
| • Frekvence: | 50/60 Hz | • Materiál těla: | Plast |



Obr. 10 – Přisazené svítidlo společnosti EMOS

2.2 Změna příkonu vlivem retrofitingu

Pro zhodnocení energetické náročnosti světelných zdrojů, popřípadě svítidel, je hlavním parametrem jejich příkon. Vyjma teplotních zdrojů na síťové napětí, jsou pro provoz světelných zdrojů zapotřebí předřadné přístroje. Předřadné přístroje jsou dvojího typu – elektromagnetické a elektronické. Oproti elektromagnetickým předřadným přístrojům mají ty elektronické několik výhod. Elektronický předřadný přístroj zpravidla prodlužuje dobu života světelného zdroje, má nižší ztráty než elektromagnetické, z tohoto důvodu je příkon svítidla nižší při zachování stejného světelného toku. Tyto přístroje jsou však zdrojem elektrických ztrát a vyšších harmonických, které zpětně ovlivňují napájecí síť [3].

Na štítcích svítidel je převážně uveden pouze elektrický příkon bez uvážení ztrát v předřadném přístroji. Údaj o celkovém příkonu lze zjistit převážně z jeho katalogového listu. Při hodnocení energetické náročnosti osvětlovací soustavy je nezbytné uvažovat nejen s příkonem světelného zdroje a ztrát v předřadném přístroji, ale také velikost parazitních příkonů. Tyto příkony odebírají předřadné přístroje ve vypnutém stavu. Tento parazitní příkon není velký, ovšem je odebírán kontinuálně po dobu, kdy je svítidlo vypnuté [3].

2.2.1 Elektrické změny

Při náhradách klasických žárovek dochází ke snížení spotřeby elektrické energie, jelikož úspornější světelné zdroje mají podstatně vyšší měrný světelný výkon. Tento fakt umožňuje pro dosažení obdobných parametrů, snížit spotřebu elektrické energie až 10x (v případě náhrady LED světelným zdrojem). Ovšem využití náhradních světelných zdrojů, především u LED zdrojů a úsporných výbojek, nenese jen klady. Jelikož tyto světelné zdroje využívají ke své činnosti předřadné zařízení, mohou bez určitých opatření vyvolat patřičné problémy v napájecí síti. Dochází ke zpětnému vlivu na napájecí síť. Z tohoto důvodu se mohou stát zdrojem rušení pro ostatní spotřebiče připojené na stejnou síť [17].

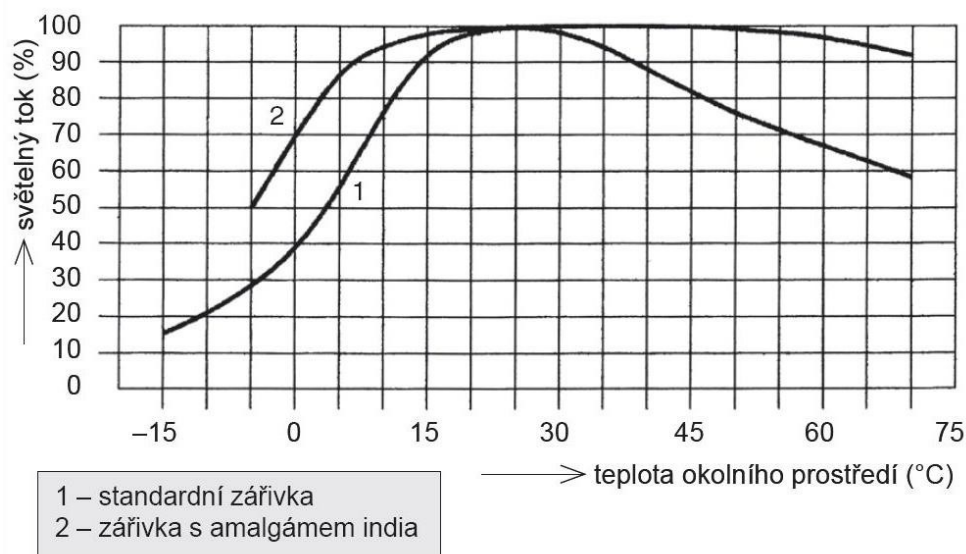
Pro posouzení tohoto jevu je nutné blíže specifikovat charakter odebíraného proudu těchto zdrojů. Teplotní zdroje (klasická a halogenová žárovka) mají pouze činný charakter příkonu, jedná se pouze o odpor, a tedy nejsou zdroji vyšších harmonických proudů. Opačný případ je právě u zmiňovaných LED žárovek a kompaktních zářivek. Tyto zdroje totiž vedle činného výkonu odebírají i jalovou energii. Pro určení celkového příkonu (zdánlivého), a tedy určení celkového zátěžového proudu, je tedy nutné znát hodnotu jak činného, tak jalového příkonu [17].

Z principu činnosti těchto zdrojů vyplývá i charakter jalového příkonu. Jelikož se jedná vesměs o elektronické předřadníky, je charakter jalového příkonu kapacitní. K tomu velikost odběru jalového příkonu je u těchto světelných zdrojů vyšší než hodnota odběru činného příkonu. Se znalostí zdánlivého příkonu světelných zdrojů je možné následně určit nejen velikost efektivní hodnoty odebíraného proudu, ale i hodnotu dekompenzačního (popř. kompenzačního) jalového výkonu. Pro dekompenzaci tohoto jalového výkonu se v praxi využívají tlumivky. Ovšem tlumivka má své činné ztráty, ty jsou ve srovnání se ztrátami v kondenzátorech podstatně na vyšší úrovni. Činné ztráty vzniklé na tlumivce jsou dány její konstrukcí a mívají hodnotu v rozmezí 1 – 5 % z jejího induktivního výkonu. Další nevýhodou je fakt, že je tlumivka zdrojem harmonických proudů a to především 3., 5. a 7. harmonické [17].

Kapitolou samo o sobě je eliminace vyšších harmonických proudů. Vyšší harmonické proudy vznikají v důsledku spínaných zdrojů. Následná velikost harmonického zkreslení je tedy dána typem a stářím předřadných zařízení určených pro správnou funkčnost těchto světelných zdrojů. Z důvodu vyšších harmonických proudů je tedy nutné provést celkovou analýzu odebíraného proudu, aby bylo možné eliminovat tyto zpětné vlivy na síť. Harmonické zkreslení proudu velmi značně ovlivňuje výsledný odběr jalové energie. Je patrné, že čím větší je harmonické zkreslení, tím je rozdíl mezi jalovým příkonem 1. harmonické a celkovým jalovým příkonem markantnější. Při projektování osvětlovacích soustav je tedy nutné tyto fakta respektovat a počítat s vyšší hodnotou odebíraného proudu, odvozeného ze zdánlivého příkonu, tak aby odpovídala platným normám [17].

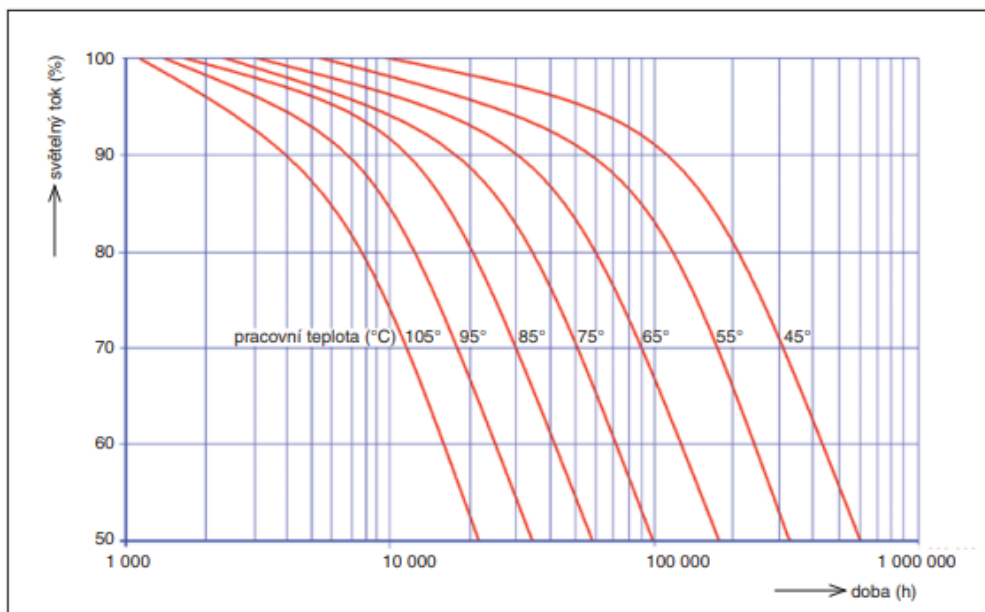
2.2.2 Teplotní změny

Pro provoz svítidla jsou velmi důležitým parametrem povrchová teplota, teplotní poměry uvnitř svítidla a vyzářené tepelné záření. Především teplotní poměry uvnitř svítidla výrazně ovlivňují životnost světelných zdrojů a předřadných přístrojů. Značný vliv mají i na velikost světelného toku vyzářeného ze světelného zdroje u teplotně závislých zdrojů. Mezi tyto zdroje patří elektroluminiscenční diody a zářivky. Z tohoto důvodu výrobci v katalogích uvádějí provozní teplotu jednotlivých světelných zdrojů. Provozní teplota je definována jako rozsah teplot, při kterých je možné světelné zdroje používat s ohledem na teplotní závislost [18]. Tepelné světelné zdroje nejsou teplotně závislé, díky jejich vysoké teplotě uvnitř baňky dosahující výrazně vyšších hodnot, než může dosáhnout jejich okolí [19].



Obr. 11 – Závislost světelného toku kompaktní zářivky na teplotě okolního prostředí [20].

Z obrázku (Obr. 11) je patrný pokles světelného toku u zářivek a to jak u nízkých teplot, tak u vysokých teplot. Tento pokles je dán principem funkce zářivek. V důsledku vyšších teplot dojde ke zvýšení tlaku v parách rtuti uvnitř trubice, což má za následek snížení velikosti světelného toku vyzářeného zdrojem. Naopak při nižších teplotách dochází ke snížení tlaku v parách rtuti. Následuje změna vyzařované energie a tedy neschopnost vyzářit dostatečné množství světelné energie přes luminofor. Rozsah provozní teploty kompaktních zářivek lze zvýšit pomocí amalgámu vhodného kovu. Díky této úpravě se rozšíří interval provozních teplot na -10 až +70°C [3] [18] [19].

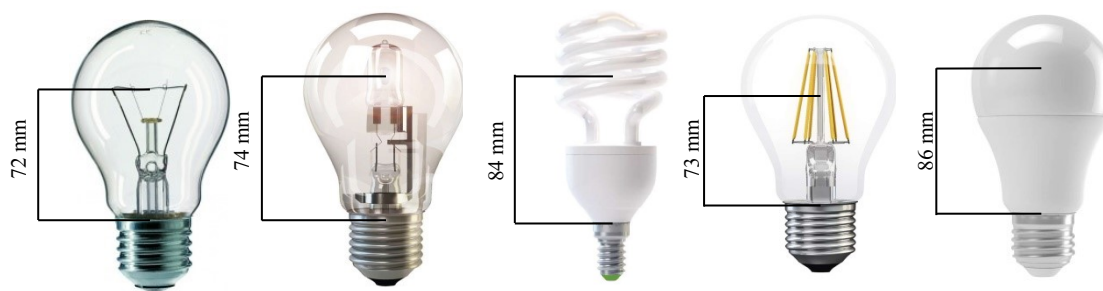


Obr. 12 – Závislost světelného toku LED a doby svícení na pracovní teplotě [21]

Z obrázku (Obr. 12) je viditelný znatelný pokles světelného toku s rostoucí teplotou okolí. S rostoucí teplotou okolí neklesá pouze vyzářený světelný tok, klesá i životnost takového zdroje. Oproti zářivkovým světelným zdrojům, těm LED nevadí nižší teploty, ba naopak [18]. Chování LED je též značně ovlivňováno tepelnými ztrátami vznikajícími v PN přechodu. Z tohoto důvodu je nutné tyto světelné diody opatřit chladičem, které co nejúčinněji odvádí teplo z oblasti PN přechodu [3].

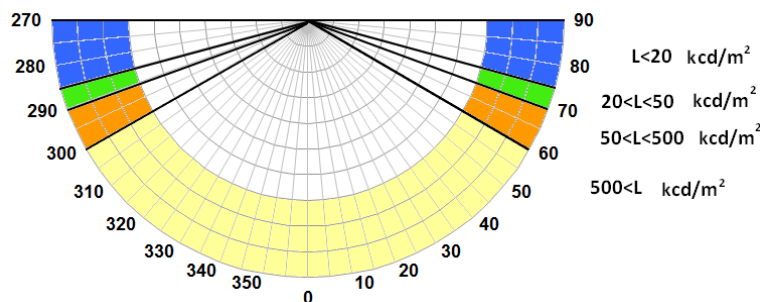
2.3 Změny ohniska a homogenity jasu vyzařovací plochy svítidla

Použitím jiného světelného zdroje než je zdroj, pro který je svítidlo konstruováno, dochází ke změnám nejen elektrickým, ale i fotometrickým. Vlivem geometrických rozměrů světelného zdroje dochází ke změně pozice ohniska zdroje vůči středu svítidla, která s sebou nese určité změny a to jak ve vyzařování, tak také u jasových poměrů svítidla. Z obrázku (Obr. 13) je patrný rozdíl mezi ohnisky u jednotlivých světelných zdrojů. Posunutí ohniska mimo střed dodaného svítidla má za následek změnu rozložení jasů světelně činné plochy svítidla a změnu ve vyzařovacích charakteristikách, především maxim vyzařování. U jiných typů svítidel má změna ohniska výraznější vliv na vyzařovací charakteristiky. Z tohoto důvodu je nutné, provést šetření vhodnosti náhrady u každého svítidla zvlášť.



Obr. 13 – Světelné zdroje a jejich pozice ohniska [15].

Jelikož posuzované svítidlo je interiérové, přisazené, uzavřené s difuzním krytem, velikost jeho vyzařovací plochy se s výměnou světelného zdroje nemění. Zůstává konstantní. Naopak se mění světelný tok vyzařovaný svítidlem. Dochází tedy ke zvýšení světelného toku při zachování velikosti světelně činné plochy svítidla. To má za následek zvýšení jasu této plochy. Z tohoto důvodu je nutné provést jasovou analýzu svítidla s jednotlivými světelnými zdroji pro vyloučení rušivého oslnění daným svítidlem. Tomuto tématu se věnuje norma ČSN EN 12 464 – 1, která mimo jiné definuje pojem oslnění a určuje mezní hodnoty jasů a jejich minimální úhly clonění (Tab. 4).



Obr. 14 – Grafické znázornění tabulky 5 [22].

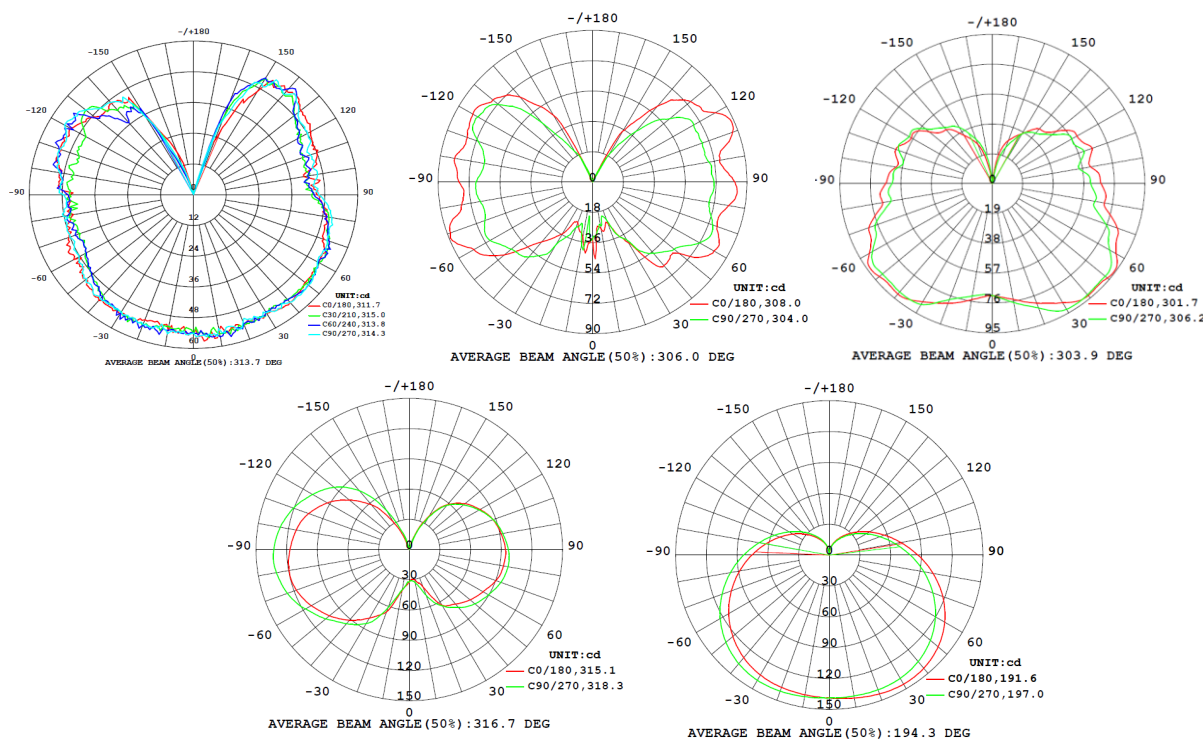
Tab. 4 – Definované minimální úhly clonění pro zvolené intervaly jasů zdrojů [22].

Jas světelného zdroje	Minimální úhel clonění
20 až 50 kcd/m ²	15°
50 až 500 kcd/m ²	20°
více než 500 kcd/m ²	30°

Změna ohniska a tedy pozice ohniska mimo střed svítidla, má za následek nehomogenní vyzařovací plochu. Dochází k asymetrickému rozložení jasů, což negativně působí na pozorovatele. Jelikož norma neuvádí, o jaké jasy se jedná, je obecný předpoklad, že se jedná o jasy normálové průměrné. S těmito jasy pracují i výpočetní programy na osvětlení. Problém však nastává při vysokých lokálních jasech, které nastávají u LED svítidel s optickými systémy, jako jsou lesklé reflektory či čočky [22].

2.3.1 Změny vyzařovací charakteristiky a účinnosti svítidla

Změnou světelného zdroje uvnitř svítidla nedochází pouze ke změně jasových poměrů svítidla, jak již bylo zmíněno výše. Dochází také k ovlivnění křivek svítivosti svítidla. Tyto změny jsou ovlivněny rozdílnými pozicemi ohnisek a vyzařovacími charakteristikami světelných zdrojů, které spolu s optickým systémem mohou způsobit změnu vyzařovací charakteristiky svítidla. Při použití nevhodného světelného zdroje může dojít u některých typů svítidel například k zúžení či rozšíření křivek svítivosti, což by mělo za následek změnu udržované osvětlenosti i rovnoměrnosti. Proto je vždy důležité posuzovat náhradu světelného zdroje i z hlediska změny vyzařovací charakteristiky svítidla.



Obr. 15 – Vyzařovací charakteristiky jednotlivých světelných zdrojů.

V této diplomové práci je posuzována vhodnost náhrady klasické žárovky za efektivnější světelné zdroje. Jejich vyzařovací charakteristiky jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 15). Při posuzování vlivu vyzařovacích charakteristik těchto zdrojů na vyzařovací charakteristiku svítidla, je nutné přihlídnout na tvar vyzařování, ale i na hodnoty svítivosti v jednotlivých úhlech. Z tohoto pohledu je následně možné predikovat změnu vyzařovací charakteristiky svítidla. Svítidlo využívá jako světelně činnou část, sloužící k redistribuci světelného toku zdroje, difuzor s rozptýlným prostupem. Tento difuzor slouží k rovnoměrnému rozptýlení vyzařovaného světelného toku ze zdroje,

popřípadě k omezení oslnění tím, že homogenizuje rozložení jasů světelně činné plochy svítidla. Z tohoto důvodu lze očekávat, že zmiňované světelné zdroje nemají výrazný vliv na tvar křivky svítivosti svítidla [6].

Optická část svítidla má vliv nejenom na tvar křivek svítivosti, ale i na účinnost svítidla. Čím kvalitnější je optická část, tím vyšší je účinnost svítidla. Ta je definována jako podíl světelného toku svítidla k světelnému toku zdrojů instalovaných právě v tomto svítidle. Dá se považovat za míru efektivnosti a hospodárnosti svítidla. Z tohoto důvodu je nutné, aby svítidlo mělo co největší účinnost. Při pohledu na světelné zdroje (Obr. 13) a jejich rozměry, lze predikovat výraznější snížení účinnosti u žárovky LED classic a kompaktní zářivky. Je to dáno zmařeným světelným tokem v krytu předřadníku a mléčným sklem baňky (trubici), sloužícím k homogenizaci. U ECO halogenové žárovky a žárovky LED filament lze očekávat mírný pokles účinnosti vlivem samotné konstrukce světelného zdroje a geometrickým rozměrem žárovky LED filament, kdy odražený světelný tok od reflektorového plíšku musí projít větší plochou skleněné baňky zdroje, jež má účinnost prostupu menší než 100 %.

2.4 Problematika prohlášení o shodě

Příslušné nařízení vlády, které se zabývá posuzováním shody stanovených výrobků při jejich dodání na trh Evropské unie, je zákon č. 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodání na trh. Tento zákon mimo jiné poskytuje předpisy Evropské unie, zabývající se výrobky uváděné na trh a popisuje postup státních orgánů ve věci ochrany trhu před nebezpečnými výrobky, ohrožující životní prostředí, majetek, život či jiný veřejný zájem [24].

Vláda příslušnými nařízeními vymezuje výrobky pro posouzení shody a rovněž technické požadavky pro výrobky uváděné na trh, případně do provozu, ale také pro výrobky používané k vlastní potřebě výrobce. V těchto nařízeních může taktéž upřesnit [24]:

- Způsoby posuzování shody
- Podmínky a pravidla pro vypracování EU prohlášení o shodě a pro umístování označení CE nebo jiného označení
- Postupy při dodávání výrobků na trh
- Podrobnosti k činnostem hospodářských subjektů a oznámených subjektů při posuzování shody [24]

Shoduje-li se výrobek se základními technickými požadavky příslušného nařízení vlády, vyhotoví výrobce dokument prohlášení o shodě. Jedná se o dokument, který deklaruje shodu výrobku s požadavky, které jsou uvedeny v již zmiňovaném zákoně [24]. Prohlášení o shodě vydává zplnomocněný zástupce výrobce mající sídlo v EU, dovozce nebo ten, který výrobek naposledy uvedl na trh v případě importu výrobku z oblastí mimo EU [25]. Postupy posuzování shody určuje nařízení vlády, konkrétně se jedná o moduly sloužící k tomuto posuzování [24].

Moduly obsažené ve zmiňovaném zákoně vytyčují postupy, jež zabezpečují výrobci, zplnomocnění zástupci a subjekty posuzování shody. Moduly upřesňují především [24]:

- Metody výměny informací mezi výrobcem a oznámeným subjektem a jejich rozsah
- Rozsah dokumentace k výrobku
- Rozsah dokumentace k výrobě nebo systému jakosti,
- Činnosti při posuzování vhodnosti návrhu výrobku
- Podrobnosti o odběru vzorků výrobku
- Rozsah a způsoby zkoušení vzorků nebo jejich prototypů
- Formy závěrů z posuzování shody
- Odlišnosti při posuzování sériové nebo kusové výroby výrobků
- Postupy při auditech systémů jakosti [24]

Pokud jsou splněna kritéria uvedená níže, smí se účastnit posuzování shody akreditovaný vnitropodnikový útvar výrobce a to v rozsahu a případech určené nařízením vlády [24].

- Na vnitropodnikový útvar se vztahuje akreditace udělená v souladu s přímo použitelným předpisem EU v oblasti akreditace dozoru
- Vnitropodnikový útvar výrobce tvoří organizačně samostatnou jednotku a jeho zaměstnanci používají takové metody podávání zpráv mezi organizačními útvary, které zajišťují jejich nestrannost, prokazovanou akreditačnímu orgánu
- Vnitropodnikový útvar výrobce a jeho zaměstnanci se nesmí podílet na návrhu, výrobě, dodávání, instalaci, provozu nebo údržbě výrobků, které posuzují
- Vnitropodnikový útvar výrobce poskytuje služby výhradně výrobcí, jehož je součástí [24]

Pouze v případech, které předepisuje nařízení vlády, může být na výrobek umístěno označení CE (Conformity Declaration) [24] [25]. Na výrobku musí být označení CE umístěno čitelně, viditelně a nesmazatelně a to ještě před uvedením na trh. K označení CE je nutné doplnit také identifikační číslo oznámeného subjektu, které mu určí Evropská komise. Příslušné nařízení vlády může rovněž určit specifické značení, které se umísťuje za označením CE, identifikačním číslem oznámeného subjektu, případně na jiném předem určeném místě. K těmto určeným označením smí být umístěny značky určující způsob použití nebo riziko [24].

3 Parametry interiérových osvětlovacích soustav

Těmito požadavky, jež musí splnit každá osvětlovací soustava interiéru, se zabývá norma ČSN EN 12 464 – 1. V této normě lze nalézt, mimo zásad pro správné navržení osvětlovací soustavy vnitřních pracovních prostor, také mezní hodnoty udržované osvětlenosti, rovnoměrnosti osvětlení, indexu podání barev, indexu oslnění a teploty chromatičnosti pro daný typ vnitřního prostoru.

Osvětlenost

- Symbol – E a jednotka – lux (lx)
- Osvětlenost je rovna podílu světelného toku Φ (lm), jež dopadá na danou plochu S (m²).
- Je-li největší rozměr svítidla či zdroje minimálně 3x menší než je vzdálenost od kontrolního bodu, dá se svítidlo či světelný zdroj považovat za bodový. Pro takový zdroj následně platí vztah pro výpočet horizontální složky osvětlenosti:

$$E = \frac{I \cdot \cos\beta}{l^2} \quad (3.1)$$

- Při výpočtu tedy platí čtvercový a kosinový zákon. Respektive osvětlenost klesá s kvadrátem vzdálenosti světelného zdroje či svítidla od kontrolních bodů.
- V normě ČSN EN 12 464 – 1 je uvedena minimální hodnota osvětlenosti s příspěvkem denní složky pro prostory s trvalým pobytem osob. Tato hodnota je stanovena na 200 lx. Je nazývána jako hygienické minimum [1] [2].

Oslnění

- Při vysokých jasech, nevhodných kontrastech jasů v zorném poli nebo velkých kontrastech jasů, dochází k fyziologickému jevu, jenž je nazýván právě oslněním.
- Při těchto situacích nastává narušení činnosti zraku, jelikož je přesáhnutá adaptabilní schopnost oka.
- Je-li pozorovatel oslněn, nastává únava zraku, snižuje se zraková pohoda nebo dochází k úplnému znemožnění vidění.
- Oslnění se dělí na [1] [2]:
 - **Psychologické** – zdroj oslnění způsobuje únavu a nepohodu.
 - **Fyziologické** – zdroj oslnění narušuje schopnost pozorovatele vykonávat zrakový úkol.
- **UGR**
 - Činitel oslnění
 - Tento činitel je určen pro zjištění hladiny oslnění ve vnitřním prostoru s respektováním přímého oslnění.
 - Je dán hodnotou jasů světelně činné plochy svítidla či světelného zdroje, hodnotou jasů pozadí a prostorovým úhlem, v němž vnímá oko světelně činné plochy svítidla či zdroje [1] [2].

Celková rovnoměrnost osvětlení

- Symbol – U_0 a jednotka – nemá (-)
- Je definována podílem minimální osvětlenosti a průměrné osvětlenosti srovnávací roviny v místě zrakového úhlu.

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_p} \quad (3.2)$$

- Při nerovnoměrném rozložení svítidel a jejich roztečí dochází k ovlivnění rovnoměrnosti osvětlenosti, což má za následek negativní vliv na zrakový výkon.
- Jak již bylo zmíněno, hodnotu celkové rovnoměrnosti osvětlenosti pro daný typ vnitřního prostoru udává norma ČSN EN 12 464 – 1 [1] [2].

Index podání barev a náhradní teplota chromatičnosti

- Oba tyto parametry jsou vysvětleny v kapitole 1. Konkrétně podkapitoly 1.2.2 a 1.2.4.



Obr. 16 – Vliv indexu podání barev na barevný vjem [26]

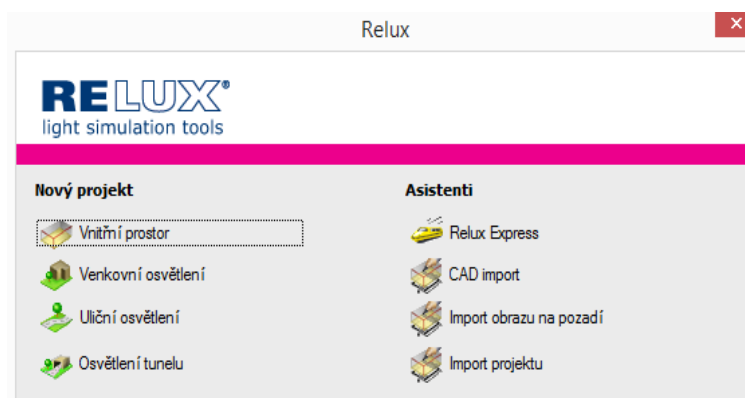
3.1 Modelování standardních osvětlovacích soustav

Tato podkapitola je věnována modelování osvětlovací soustavy. Je zde obecně popsáno modelování osvětlovacích soustav v programu ReluxPRO. Tento program je z dílny švýcarských vývojářů. Společnost se zabývá nejen vývojem, ale i výrobou a distribucí návrhu osvětlení a následnou ukázkou výrobků pomocí softwaru [27].

3.1.1 Využití softwaru pro světelné technické návrhy

Zvolení nového projektu

Modelování v programu Relux je přehledné, intuitivní a naprosto dostačující pro modelování osvětlovacích soustav. Po spuštění programu se objeví volba oblasti modelování a to z možností vnitřní prostor, venkovní osvětlení, uliční osvětlení a osvětlení tunelu (Obr. 17). Pro případ rozebírání v této práci je nutné zvolit vnitřní prostor. Po odsouhlasení zvoleného prostoru se objeví formulář na zapsání základních údajů o projektu. Do tohoto formuláře projektant uvede informace o modelovaném prostoru (název, zadavatel, zhotovitel, poznámky, atd.). Po následném odsouhlasení se objeví okno s klasifikací modelovaného prostoru. Do tohoto okna projektant navolí rozměry prostoru, materiál (odraznosti jednotlivých ploch), oblast hodnocení, nominální hodnoty, případně zeměpisnou polohu a jméno prostoru. Následuje samotné modelování osvětlovací soustavy. Postup tohoto modelování je uveden níže.



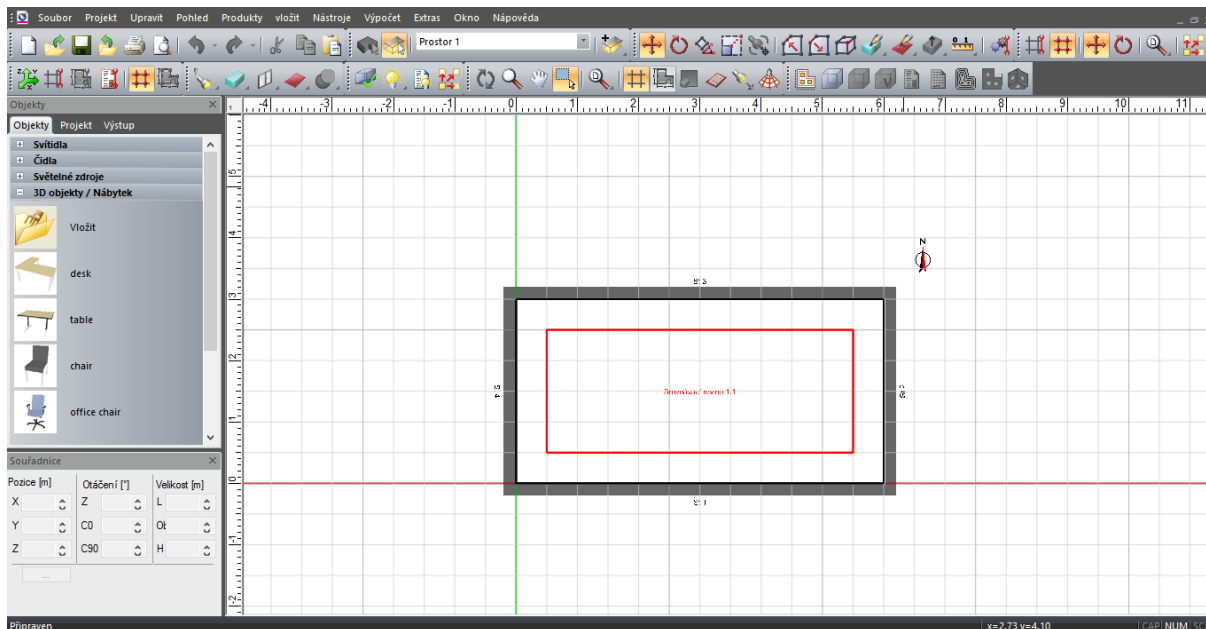
Obr. 17 – Dialogové okno volby oblasti modelování.

Z obrázku výše uvedeného je patrné, že do Reluxu je možné i importovat projekty, obrázky a soubory dwg, což jsou soubory z prostředí AutoCAD. Díky této skutečnosti je možné si objekt nakreslit v kreslicím programu AutoCAD (nebo i v malování), naimportovat tento soubor do Reluxu a následně překreslit dle této “šablony” modelovaný prostor.

Tvorba modelovaného prostředí

Po vytvoření nového projektu následuje modelování daného prostředí. Takové prostředí je ilustrováno na obrázku (Obr. 18). Z tohoto obrázku je patrné rozložení jednotlivých funkčních komponent programu. V horní části programu se nachází nástrojová lišta. Množství funkcí obsažených na této liště je libovolně měnitelné v nastavení. V levé části programu jsou dva panely. Horní panel obsahuje tři záložky (objekty, projekt, výstup). Záložka “Objekty” nabízí rychlé vložení objektů do projektu (např. 3D objekty, svítidla, světelné zdroje, čidla, atd.). Záložka “Projekt” obsahuje veškeré

vložené objekty do projektu a jejich individuální nastavení, jako umístění objektu, struktura a další. Poslední záložka “Výstup” je tvořena výstupními protokoly o měření. Spodní panel nesoucí název “Souřadnice” je určen pro přesné určení pozice daných objektů. V tomto panelu lze nastavovat pozici, otočení a velikost objektů [18].



Obr. 18 – Prostředí v programu ReluxPRO

Vložení svítidel do projektu

Do projektu lze svítidla vkládat dvojím způsobem. Buď přes panel umístěný v levé části v záložce objekty/ svítidla. Nebo přes “Vložit → Svítidla → Nové samostatné svítidlo” v hlavní nabídce. Objeví se výběrový formulář, kde jsou přehledně zobrazeny všechna svítidla z knihovny ReluxPRO. Tuto knihovnu je vhodné vždy před samotným modelováním aktualizovat. Ve výběrovém formuláři svítidel je možné zobrazit si jednotlivé parametry svítidla (UGR, Křivka svítivosti, Jas, atd.). Vybrané svítidlo, odpovídající požadavkům na osvětlení, je nutné importovat do projektu přes tlačítka “Nové” a následně “Převzít jako typ č.”.

Pro umístění svítidel do projektu je i jiná metoda. Pomocí volby “Výpočet osvětlení tokovou metodou”. Po zvolení této volby se objeví opět výběrový formulář svítidel, zde je vybráno vhodné svítidlo a po potvrzení je zobrazen formulář (Obr. 19). V tomto formuláři je nutné zvolit udržovací činitel, druh montáže, montážní výšku, rozmístění a počet svítidel a směřování hlavních os. Následně je nutné zvolit, zda je pevně dán počet svítidel a určuje se osvětlenost prostoru nebo zda je pevně zvolena intenzita osvětlení a mění se počet svítidel v závislosti na této intenzitě [18]. Posledním způsobem, jak vložit svítidla do projektu je pomocí dat ve formátu *.ldt, které poskytuje výrobce těchto svítidel. Svítidlo se do projektu vloží pouhým přesunutím souboru *.ldt z webových stránek do prostředí ReluxPRO.

Obr. 19 – EasyLux formulář

Výpočet parametrů osvětlení

Před samotným spuštěním výpočtu osvětlení v programu, je nutné nastavit parametry tohoto výpočtu. Toto nastavení se provede pomocí ikony “Změnit nastavení výpočtu” nebo přes hlavní nabídku “Výpočet → Nastavení výpočtu“. Při nastavování parametrů výpočtu je nutné zvolit z několika možností typu osvětlení (umělé, denní, sdružené, nouzové, atd.) v levém prostoru okna. V pravé části se pro vybraný typ osvětlení volí odpovídající kritéria. Například jednou z možností u umělého osvětlení je určení udržovacího činitele, kde projektant pouhým volením předdefinovaných parametrů získá výsledný udržovací činitel.

Zobrazení výsledků

Pro zobrazení výsledků provedeného výpočtu je určena lišta nástrojů. V této liště je možné přepínat mezi půdorysem prostoru a 3D prostorem tohoto prostoru. V těchto zobrazeních není patrný vliv svítidel, respektive není zde zobrazeno svítidlo v zapnutém stavu. Slouží pouze pro představu dispozice objektů umístěných v prostoru. Pro zobrazení výsledků slouží ikona, jež umožňuje variabilní pohled na rozložení jasů v 3D prostoru. Následné ikony slouží pro zobrazení protokolu o provedeném výpočtu, kde jsou zobrazeny hodnoty osvětlení, izočar a pseudobarev na srovnávací rovině. Výstupní protokol lze vytisknout, popřípadě uložit ve formátu PDF. Tento protokol obsahuje veškeré informace o projektu. Množství těchto informací lze změnit v náhledu tisku

3.2 Srovnání provedených světelně technických výpočtů

Podkapitola se věnuje modelování osvětlovací soustavy a následnému posouzení vlivů jednotlivých světelných zdrojů na parametry této soustavy. Jelikož celá diplomová práce se zabývá interiérovým svítidlem, bude další postup modelování prováděn právě pro vnitřní prostory. Do tohoto prostoru bylo instalováno zkoumané svítidlo společnosti EMOS spol. s r.o. Data potřebná pro modelování jsem získal z měření ve formátu *.ldt. Pro namodelování byl vybrán náhodný prostor. Do tohoto prostoru bylo následně postupně vloženo svítidlo s vybranými světelnými zdroji a došlo k posouzení vlivu těchto světelných zdrojů na osvětlovací soustavu. Aby bylo možné posoudit vliv zdrojů na parametry soustavy, zavedl jsem předpoklad stejného udržovacího činitele, pro jednotlivá řešení.

3.2.1 Popis modelované místnosti

Modelovaná místnost je smyšlená a to pouze za účelem zjištění chování posuzovaných světelných zdrojů v interiérovém svítidle. Při výpočtu světelně technických parametrů soustavy byl z modelované místnosti odstraněn nábytek a okna, sloužící pro ilustraci. Pro osvětlení dané prostoru byla zvolena centrální poloha svítidla, jelikož stále je to nejběžnější pozice svítidla v prostoru.

- **Šířka:** 2,5 m
- **Délka:** 4 m
- **Výška** 2,6 m
- **Odrážnost stěn:** 70
- **Odrážnost strop:** 50
- **Odrážnost podlahy:** 30
- **Výška srovnávací r.:** 0 m
- **Udržovací činitel:** 0,8



Obr. 20 – Modelovaný prostor.

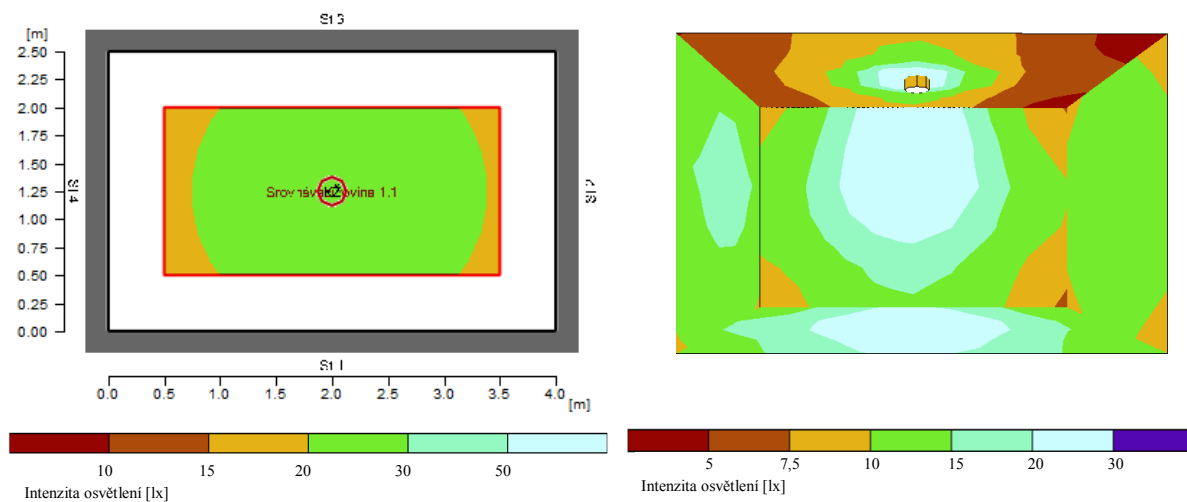
Pro výpočet osvětleností a rovnoměrnosti byla zvolena síť kontrolních bodů dle vztahu uvedeného v normě ČSN EN 12 464 – 1. Tento vztah určuje maximální rozměr buňky sítě s tím, že poměr šířky a délky buňky sítě musí být v intervalu hodnot 0 a 2 [24].

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log d} \quad (\text{m}; \text{m}) \quad (3.3)$$

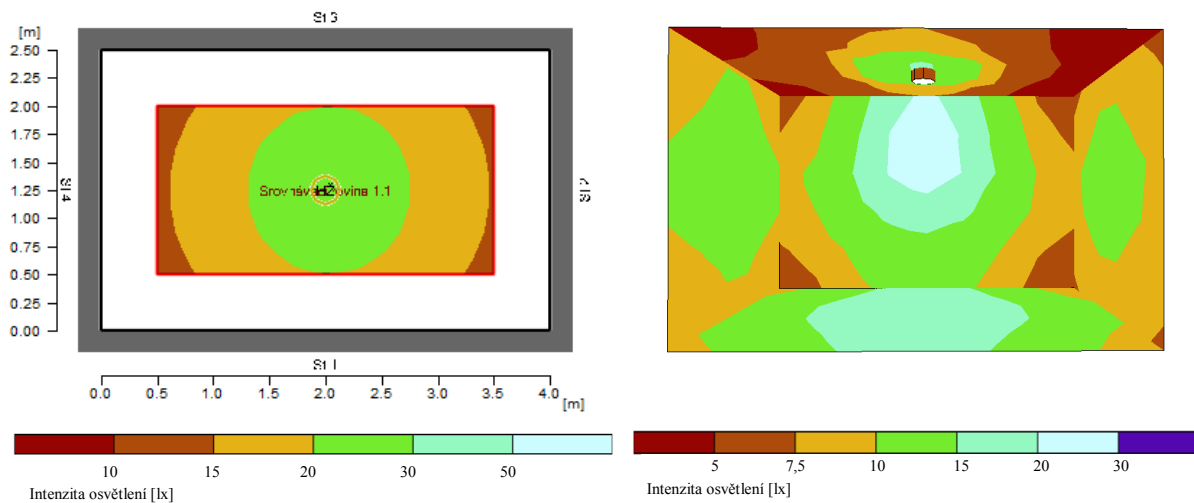
ddelší rozměr plochy (ovšem pokud je podíl delší strany k straně kratší menší než 2, tak parametr d je rozměr kratší).

pmaximální rozměr kroku sítě (tato hodnota by měla nabývat hodnot větších nebo rovno 10).

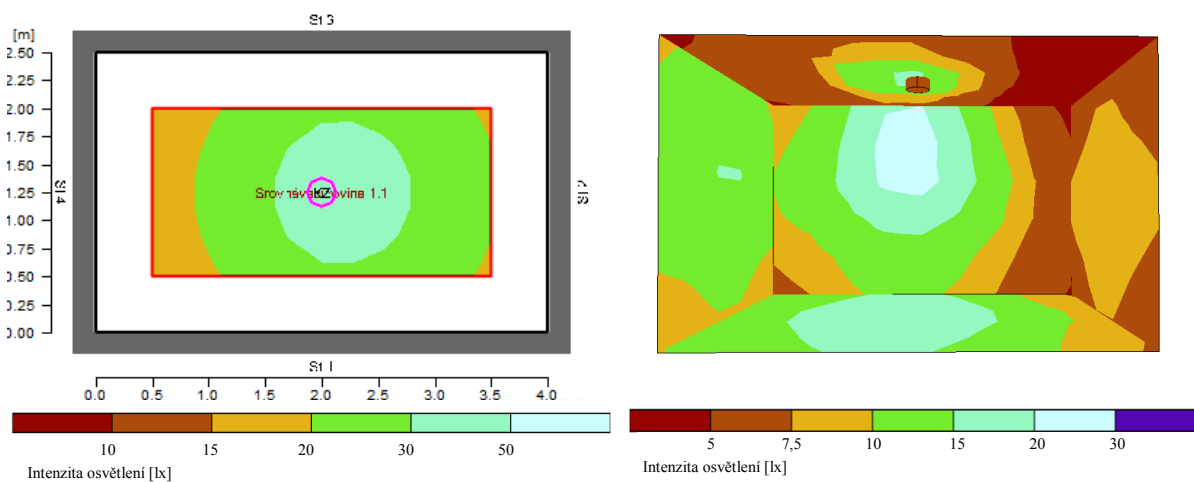
Dle vztahu 3.1 je maximální krok sítě roven $p = 0,431$ m. Se znalostí tohoto rozměru jsem sestavil plochu s daným počtem kontrolních bodů. Tato srovnávací rovina byla umístěna na podlaze, kde byly vyhodnoceny základní parametry osvětlovací soustavy.



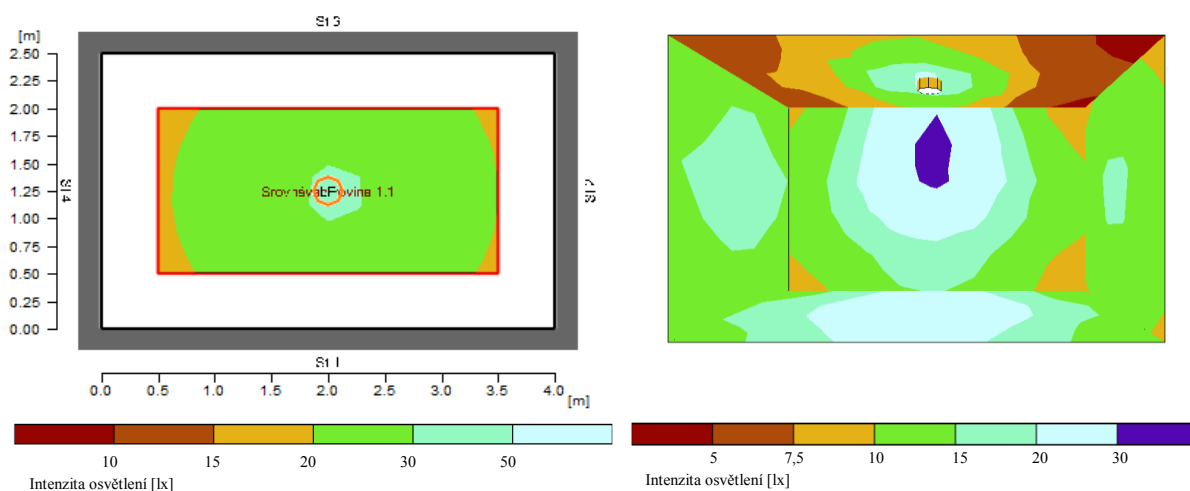
Obr. 21 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s klasickou žárovkou.



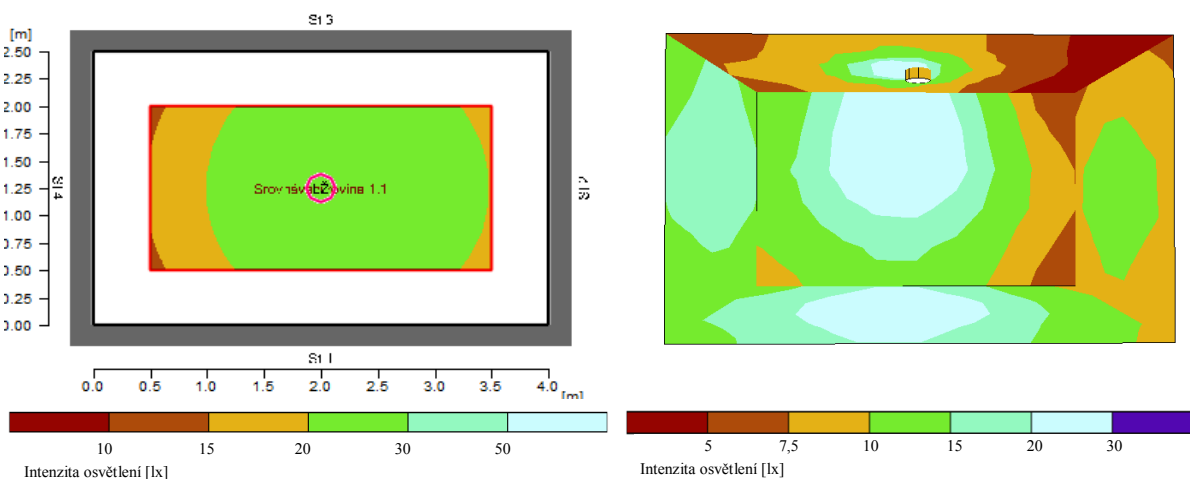
Obr. 22 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s ECO halogenovou žárovkou.



Obr. 23 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s kompaktní zářivkou.



Obr. 24 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s žárovkou LED filament.



Obr. 25 – Model prostoru a 3D rozložení osvětlenosti se svítidlem s žárovkou LED classic.

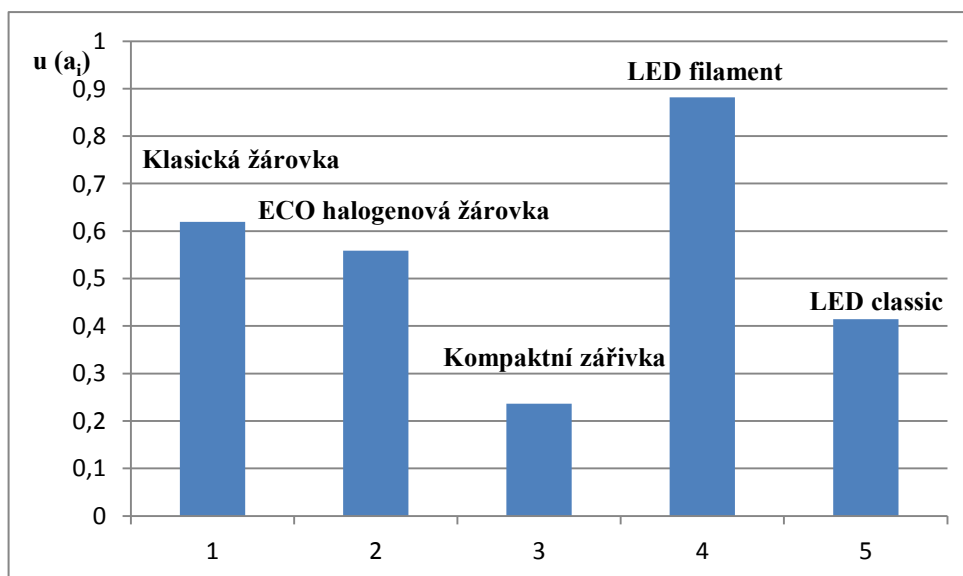
3.2.2 Srovnání výsledků modelování

Tab. 5 – Vypočtené hodnoty parametrů osvětlovací soustavy v programu ReluxPRO.

Zdroj	Vypočtené hodnoty parametrů					
	P [W]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	U_o [-]	U_d [-]	UGR [-]
Klasická ž.	75,6	22,6	16,7	0,74	0,61	$\leq 18,4$
ECO halogenová ž.	56,1	17,8	13,4	0,75	0,62	$\leq 17,2$
Kompaktní z.	12,2	17,1	11,6	0,68	0,56	$\leq 18,8$
LED filament	8,4	24,0	17,6	0,74	0,61	$\leq 18,5$
LED classic	11,0	21,7	14,6	0,68	0,56	$\leq 19,7$

Pro účely srovnání vlivu jednotlivých světelných zdrojů na osvětlovací soustavu jsem využil program pro tvorbu světelně technických návrhů ReluxPRO. V tomto programu jsem namodeloval místnost a vložil jednotlivá svítidla do centrální pozice. Díky této pozici jsou vlivy na parametry osvětlovací soustavy patrnější. Po zvolení stejného udržovacího činitele pro jednotlivé světelné technické návrhy, bylo možné tyto návrhy mezi sebou porovnat.

Tak jako při porovnávání jednotlivých světelných zdrojů, také zde jsem pro srovnání využil multikriteriální analýzu. Postup je poskytnut v příloze. Z Fullerova trojúhelníku obsaženého v této příloze je patrné, že nejvyšší váhy jsou přiřazeny udržované osvětlenosti a následně rovnoměrnosti a příkonu svítidla. Naopak nejnižší váhy jsou přiřazeny minimální osvětlenosti a podélné rovnoměrnosti osvětleností. Výsledkem této multikriteriální analýzy je nejvhodnější svítidlo z pohledu parametrů osvětlovací soustavy. Z níže uvedeného grafu (Obr. 26) vychází nejlépe svítidlo s žárovkou LED filament.



Obr. 26 – Graf užitku jednotlivých svítidel v modelovaném prostoru.

Níže realizované porovnání je provedené ve smyslu k osvětlovací soustavě se svítidlem s klasickou žárovkou.

Při použití svítidla s ECO halogenovou žárovkou dochází ke snížení spotřeby elektrické energie o 26 %. V porovnání se zbylými zdroji je to však nejnižší pokles spotřeby, což je důsledkem nízkého měrného výkonu zdroje. Jelikož také hodnota vyzařovaného světelného toku z tohoto svítidla je nízká (Tab. 11), dochází k poklesu udržované osvětlenosti o 21 %. Oproti tomu rovnoměrnost osvětleností srovnávací roviny se zvýšila o 1%, což je ovšem zanedbatelné. Z hlediska činitele oslnění *UGR* dochází u tohoto svítidla k nejvýraznějšímu poklesu. Obrázek (Obr. 22) potvrzuje snížení udržované osvětlenosti jak na srovnávací rovině (vpravo), tak v celém prostoru (vlevo). Na levém obrázku je taktéž patrné snížení osvětlení rohů oproti svítidlu s klasickou žárovkou.

Dalším z porovnávaných svítidel, bylo svítidlo s kompaktní zářivkou. Při použití tohoto světelného zdroje dochází k poklesu spotřeby elektrické energie o 84 %. Což je výrazně více, než při použití ECO halogenové žárovky. Důvodem tohoto snížení spotřeby elektrické energie je výrazný rozdíl měrných výkonů kompaktní zářivky a klasické žárovky. Ovšem také v tomto případě dochází k poklesu udržované osvětlenosti, konkrétně o 24 %. Důvodem je rovněž nízká hodnota světelného toku tohoto svítidla (Tab. 12). Příčina nízkého světelného toku svítidla je popsána v kapitolách níže. Z pohledu rovnoměrnosti osvětleností srovnávací roviny, dochází k poklesu o 8 %. Příčinou je vyosení vyzařování svítidla vlivem konstrukce zdroje. Z tohoto důvodu vyzařuje toto svítidlo do jednoho poloprostoru více světelného toku než do druhého, což dokazuje také obrázek (Obr. 23). Důsledkem čehož dochází k různým osvětlením protilehlých stěn.

Následně porovnávaným svítidlem se stalo svítidlo s žárovkou LED filament. Toto svítidlo disponuje nejvyšší hodnotou měrného výkonu (Tab. 13), což má za následek nejznatelnější pokles spotřeby elektrické energie (o 89 %). Spolu s nejvyšší hodnotou měrného výkonu, disponuje toto svítidlo i nejvyšší hodnotou světelného toku a tedy nejvýraznějším zvýšením udržované osvětlenosti (o 6 %). Rovnoměrnost osvětleností srovnávací roviny je totožná s hodnotou u svítidla s klasickou žárovkou. To dokazuje, že žárovka LED filament nemá výrazný vliv na distribuci světelného toku svítidla, což potvrzuje i srovnání obrázků (Obr. 21 a Obr. 24). Toto svítidlo je tedy z hlediska retrofitingu nejvhodnějším světelným zdrojem.

Posledním svítidlem bylo svítidlo s žárovkou LED classic. Měrný světelný výkon tohoto svítidla je druhým nejvyšším a tedy i úspora elektrické energie je druhá nejvýraznější (o 85 %). Oproti žárovce LED filament, dochází k poklesu udržované osvětlenosti o 4 %. Ke snížení udržované osvětlenosti dochází i přesto, že samotná žárovka LED classic vyzařuje více světelného toku než klasická žárovka. Příčinou poklesu udržované osvětlenosti je však snížení účinnosti svítidla při použití žárovky LED classic, což je způsobeno konstrukcí zdroje. Více se tomuto tématu věnuji v kapitolách níže. Tak jako u svítidla s kompaktní zářivkou, rovněž u svítidla s žárovkou LED filament dochází k poklesu rovnoměrnosti osvětleností srovnávací roviny (o 8 %). I zde dochází k většímu osvětlení jedné z protilehlých stěn.

4 Porovnání vybraných světelných zdrojů měřením

Pro verifikaci hodnot parametrů světelných zdrojů, deklarovaných v jejich katalogových listech, jsem provedl měření v integrační kouli. Z tohoto měření jsem vyseparoval změřené hodnoty, které jsem následně porovnal s hodnotami deklarovanými. Pomocí goniofotometru, se kterým jsem postupně měřil jednotlivé světelné zdroje uvnitř dodaného svítidla, jsem získal křivky svítivosti a účinnosti jednotlivých svítidel. Aby nebyla přesáhnutá dovolená mez jasu světelně činné plochy svítidla, provedl jsem měření pomocí jasového analyzátoru. Díky tomuto měření jsem získal rozložení jasů světelně činné plochy, maximální a průměrné jasy ve zvolených úhlech. Aby nedošlo ke zkreslení naměřených dat, proběhlo u každého světelného zdroje tzv. “zahoření” – a to minimálně 100 hodin.

4.1 Postup provedených měření

4.1.1 Měření s goniofotometrem

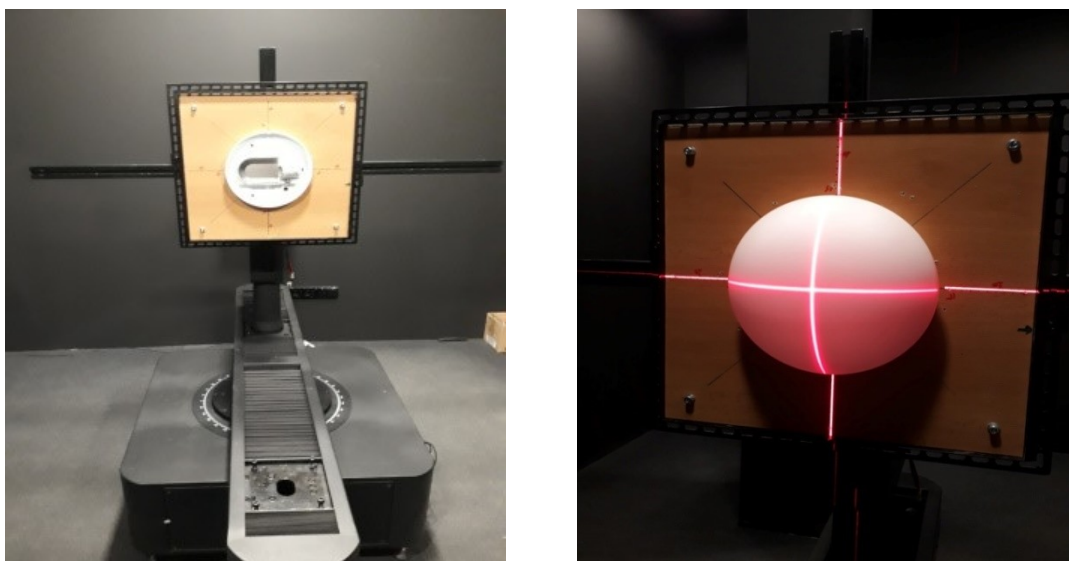
Tab. 6 – *Specifikace použitých přístrojů při měření s goniofotometrem.*

Přístroj	Typ	Certifikát	Společnost
Otočné rameno	GO - 2000B	PS170788627	EVERFINE
Kalibrační žárovka	28 V/ 10 A/ 500 cd	C201708160101	NVLAP
Foto detektor	ID - 1000	MM170682555	EVERFINE
Ovládání otočného ramene	CT 400	PS170788720	EVERFINE
Wattmetr	PF310	GD170201471	EVERFINE
AC zdroj	DPS 1000	PS170804177	EVERFINE

V prostorech laboratoře EMOS spol. s r.o. je instalován goniofotometr od společnosti EVERFINE. Jedná se o goniofotometr s otočným zdrojem a statickým fotometrem umístěným ve vzdálenosti 6,56 m od měřeného zdroje. Tím je zajištěna podmínka fotometrické vzdálenosti. Vzdálenost luxmetru od měřeného světelného zdroje musí být minimálně pětikrát větší, než je největší rozměr měřeného světelného zdroje. Místnost, ve které probíhalo měření, byla vymalována na černo s černými závěsy eliminujícími venkovní světlo a odražený světelný tok od stěn, dveří, stropu a podlahy. Tyto vlivy by negativně ovlivnily přesnost měření.

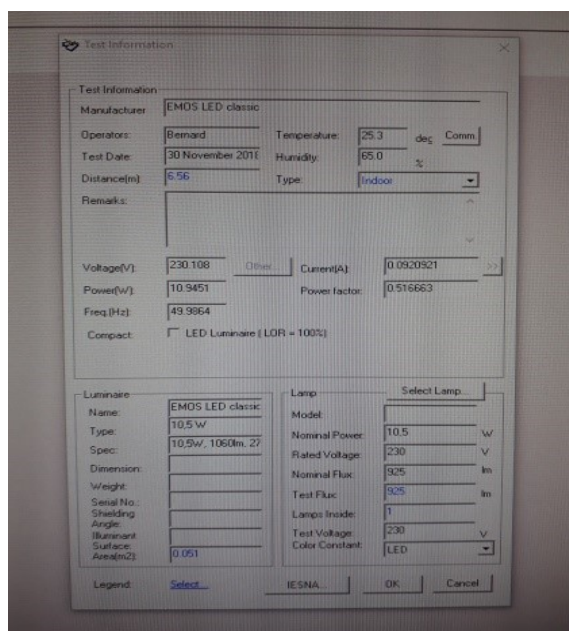
Před samotným měřením jsem zajistil upevnění svítidla na fotometrické lavici. K tomuto účelu sloužil speciální přípravek (Obr. 27 – vlevo). Tento přípravek zaručí stabilní ukotvení svítidla v potřebné pozici, aby při měření nedocházelo k otřesům, posunům a jiným nežádoucím pohybům svítidla, které by měly za následek zkreslení změřených dat.

Po ukotvení svítidla na přípravek a následném přichycení přípravku na ramena fotometrické lavice, jsem musel svítidlo osově vystředit. Vystředění se provádí vizuálně pomocí laserového kříže (Obr. 27 – vpravo). Před samotným měřením jsem nechal světelné zdroje svítit uvnitř svítidla do doby ustálení parametrů svítidla.



Obr. 27 – Fotometrická lavice s přípravkem na ukotvení svítidla.

Jelikož veškerá naměřená data zpracovává software GONIOPHOTOMETERS GOSoft V2.0, bylo nutné, abych nastavil potřebné parametry pro správné vyhodnocení měření a následné vyhotovení protokolu. Po samotném nastavení (Obr. 28), kdy jsem do vstupního dialogového okna vložil výchozí data určující dané prostředí (vlhkost a teplota) a měřený objekt (příkon, světelný tok, typ zdroje a další), bylo nutné nastavit parametry testování. Křivky svítivosti jsem měřil v rovině C – Gamma s C – krokem 10° a Gamma – krokem 1° . Měření proběhlo s rozsahy C – rozsah (0 – 360°) a Gamma – rozsah (0 – 110°). Tyto rozsahy jsem volil vzhledem k charakteru svítidla. Následné odsouhlasení nastavení těchto parametrů vedlo k dialogovému oknu a spuštění měření.



Obr. 28 – Dialogové okno před spuštěním testu.

4.1.2 Měření v integrační kouli

Tab. 7 – Specifikace použitých přístrojů při měření v integrační kouli.

Přístroj	Typ	Certifikát	Společnost
Ocelová integrační koule	SIS - 5_2.0 m	-	EVERFINE
Kalibrační žárovka	D 204	130700015	EVERFINE
AC zdroj	DSP 1060	130814287	EVERFINE
Wattmetr	PF 2010	130610809	EVERFINE
Spektrofotometr	HAAS - 3000	130853260	EVERFINE

Měření jsem provedl v laboratoři firmy EMOS spol. s r.o., stejně jako měření s goniofotometrem. V této laboratoři je instalován integrátor kulového typu (Obr. 29). Tento tvar integrátoru je nejvhodnější. Uvnitř integrační koule je umístěn fotočlánek a před ním clonka, která zabraňuje přímému dopadu světla vyzářeného měřeným světelným zdrojem. Před samotným zahájením měření jsem nejprve provedl kontrolu pozice držáku, který slouží k upevnění světelného zdroje. Držák, respektive jeho délku, jsem nastavil tak, aby střed světelného zdroje byl na středu stínítka fotočlátku, který je instalován uvnitř koule. Následně jsem vložil do objímky normálovou žárovku, sloužící pro kalibraci luxmetru. Jedná se o halogenovou žárovku s předepsaným světelným tokem za předepsaného proudu. Tento proud jsem nastavil pomocí zdroje. Do softwaru jsem vnesl hodnoty světelného toku a proudu normálové žárovky a spustil kalibraci. Po kalibraci jsem místo normálové žárovky umístil do objímky měřený světelný zdroj, který jsem nechal svítit až do doby ustálení parametrů. Tato doba se liší v závislosti na typu světelného zdroje. Obdobně, jako v případě goniofotometru, byla měření v integrační kouli vyhodnocena pomocí softwaru – v tomto případě SW Everfine HaasSuite. Po uplynutí doby k ustálení parametrů zdroje jsem spustil test. Po dokončení tohoto testu jsem dvojklikem na změřené hodnoty zobrazil dialogové okno, sloužící k popisu měřeného objektu (název, parametry, zhotovitel atd.).



Obr. 29 – Integrační koule.

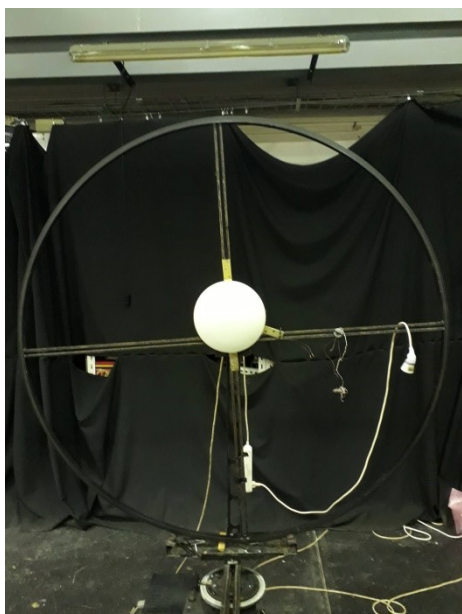
4.1.3 Měření jasovým analyzátozem

Tab. 8 – Specifikace použitých přístrojů při měření s jasovým analyzátozem.

Přístroj	Typ	Výrobní číslo
Fotoaparát	LMK Canon EOS 450D	2380521307
Objektiv	50 - 150 mm F2,8	10243317

Měření jasu světelně činné plochy svítidla jsem provedl v prostorech VŠB – TUO. Konkrétně na pracovišti HARD, respektive těžké laboratoře – budova L. Měření jsem provedl za pomoci fotoaparátu LMK Canon EOS 450D s číslem kalibračního listu 41662. Svítidlo s jednotlivými světelnými zdroji jsem umístil ve středu fotometrické lavice (Obr. 30 – vlevo). Jasový analyzátoz jsem upevnil na stativ (Obr. 30 – vpravo) a umístil ve vzdálenosti 0,8 m, aby nebylo nutné přibližovat pomocí objektivu. Během měření jsem analyzátoz i se stativem přesouval do patřičných pozic, abych dosáhnul zvolených kritických úhlů (75°, 65°, 55°). Následovalo vhodné nastavení analyzátozu, respektive nastavení clony a kvality. Konkrétně pro tento typ svítidla jsem nastavil clonu F10 a kvalitu ISO 100. Následně jsem nastavil režim focení AEB, což je automatické posunutí expozice. Díky této funkci dochází k vytvoření tří fotografií s různými dobami uzávěrek. To zajistí zachycení všech hladin jasů. Aby bylo možné zajistit vysoké jasy, je nutné mít krátkou dobu uzávěrky a pro zachycení nízkých jasů zase dlouhou dobu uzávěrky.

Zhodnocení fotografií z provedeného měření jsem provedl v prostředí programu LMK labsoft. V tomto programu jsem vyznačil světelně činnou plochu svítidla pro zjištění průměrného jasu a následně nastavil stejné škály hodnocení pro svítidlo s jednotlivými typy zdrojů, aby bylo možné jejich vzájemné porovnání. Výstupem tohoto měření jsou fotografie (Obr. 36 – Obr. 40) a hodnoty maximálních a průměrných jasů (Tab. 15 – Tab. 19) v jednotlivých kritických úhlech.



Obr. 30 – Upevnění svítidla na fotometrické lavici a jasový analyzátoz LMK se stativem.

4.2 Ověření parametrů světelných zdrojů s katalogovými údaji

Kvalita světelného zdroje se odvíjí od jeho míry splnění deklarovaných parametrů. Proto je při retrofitingu důležité tuto míru ověřit. K verifikaci parametrů jednotlivých světelných zdrojů jsem využil integrační koule. Ta po dokončení testu vyhodnotila měření v reportu. Z tohoto reportu jsem vyjmul hodnoty parametrů, potřebné pro verifikaci (Tab. 9).

Tab. 9 – Deklarované a naměřené hodnoty parametrů jednotlivých světelných zdrojů.

Světelné zdroje	Příkon [W]		Světelný tok [lm]		Náhradní teplota chrom. [K]		Měrný světelný výkon [lm/W]	
	Deklarovaný	Změřený	Deklarovaný	Změřený	Deklarovaná	Změřená	Deklarovaný	Změřený
Klasická žárovka	75	75,8	935	936,5	2700	2743	13	12,4
Halogenová žárovka	53	56,2	840	782,0	2700	2802	16	13,9
Kompaktní zářivka	15	13,4	880	837,5	2700	2601	59	62,7
LED filament	8	8,3	1060	1062,0	2700	2750	132	127,7
LED classic	10,5	11,3	1060	1016,6	2700	2784	101	89,9
Světelné zdroje	Index podání barev [-]		Účinník [-]					
	Deklarovaný	Změřený	Deklarovaný	Změřený				
Klasická žárovka	100	99,9	1	1,0				
Halogenová žárovka	100	99,8	1	1,0				
Kompaktní zářivka	>80	82,7	0,578	0,586				
LED filament	>80	82,4	0,5	0,5				
LED classic	>80	82,1	0,5	0,5				

Měřením v integrační kouli jsem získal světelně technické parametry dodaných světelných zdrojů. Tyto změřené parametry, včetně parametrů deklarovaných výrobcem, jsem uvedl v tabulce (Tab. 9). Měření jsem provedl za účelem verifikace hodnot parametrů, deklarovaných výrobcem.

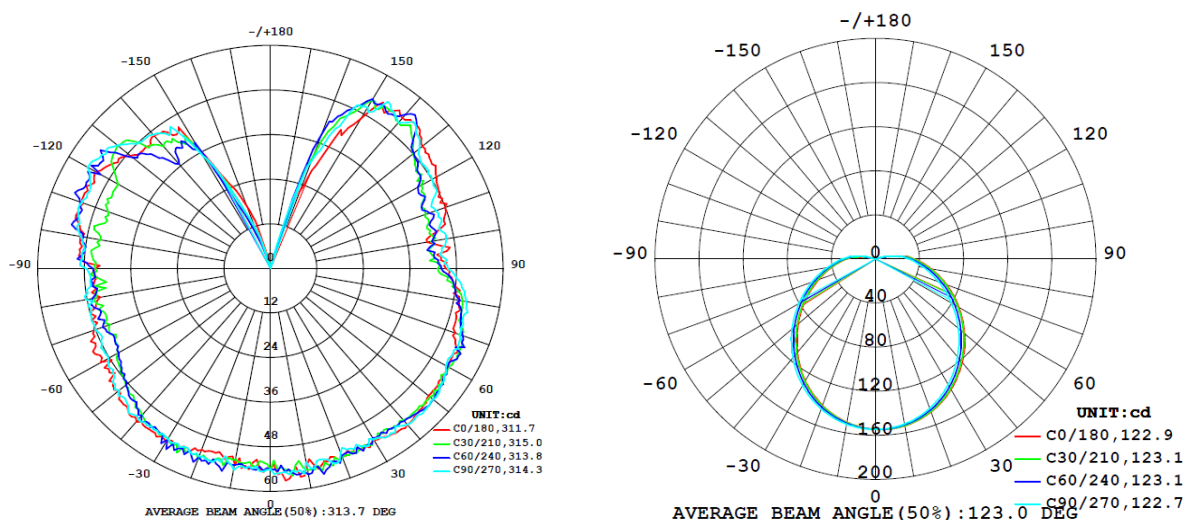
Ze srovnání deklarovaných hodnot parametrů a změřených hodnot parametru (Tab. 9) je patrné, že hodnoty změřené jsou totožné s hodnotami určenými z katalogů nebo jsou v dovolených mezích. Reporty z měření jsou obsaženy v elektronické příloze.

4.3 Posouzení vyzařovacích charakteristik, oslnění a účinnosti svítidla

K posouzení vyzařovací charakteristiky a účinnosti svítidla jsem využil goniofotometr. Z tohoto měření jsem vyseparoval hodnoty účinnosti svítidel (Tab. 10 – Tab. 14) a vynesené hodnoty svítivosti v polárních souřadnicích (Obr. 31 – Obr. 35). Z hlediska posouzení možného rušivého oslnění jsem využil jasového analyzátoru. Hodnoty získané tímto měření jsem vynesl v tabulkách (Tab. 15 – Tab. 19) a na obrázcích (Obr. 36 – Obr. 40).

4.3.1 Vyzařovací charakteristiky a účinnost světelných zdrojů a svítidla

Klasická žárovka

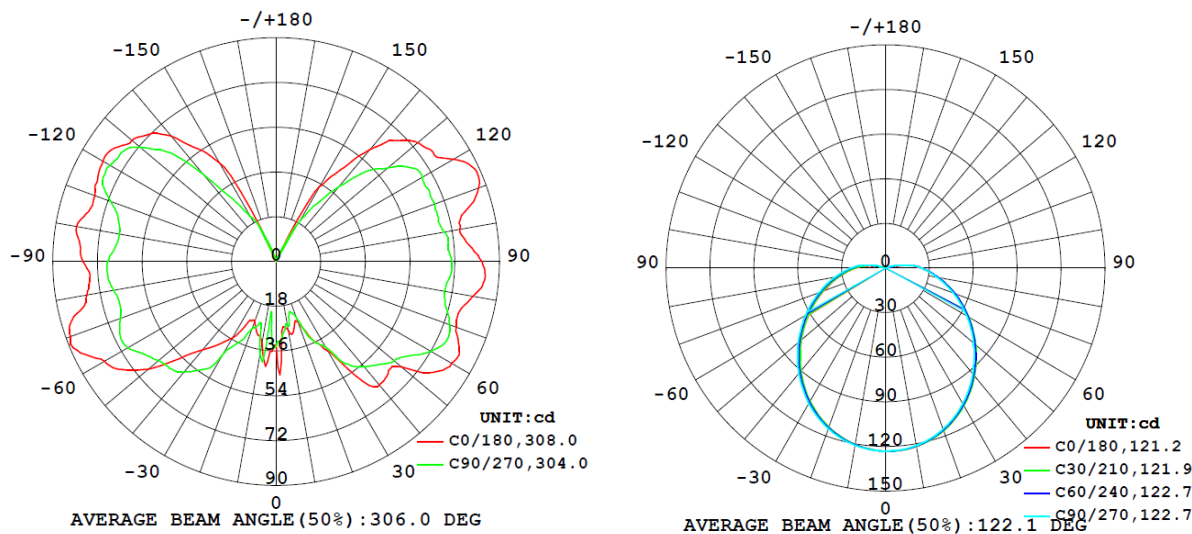


Obr. 31 – Vyzařovací charakteristika klasické žárovky a svítidla s klasickou žárovkou.

Tab. 10 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s klasickou žárovkou.

Svítidlo s klasickou žárovkou		
Světelný tok [lm]		562,3
Měrný světelný výkon [lm/W]		7,44
Účinnost [%]	celková [%]	60,1
	up [%]	3,6
	down [%]	56,5
Maximální svítivost [cd]		154,8

ECO halogenová žárovka

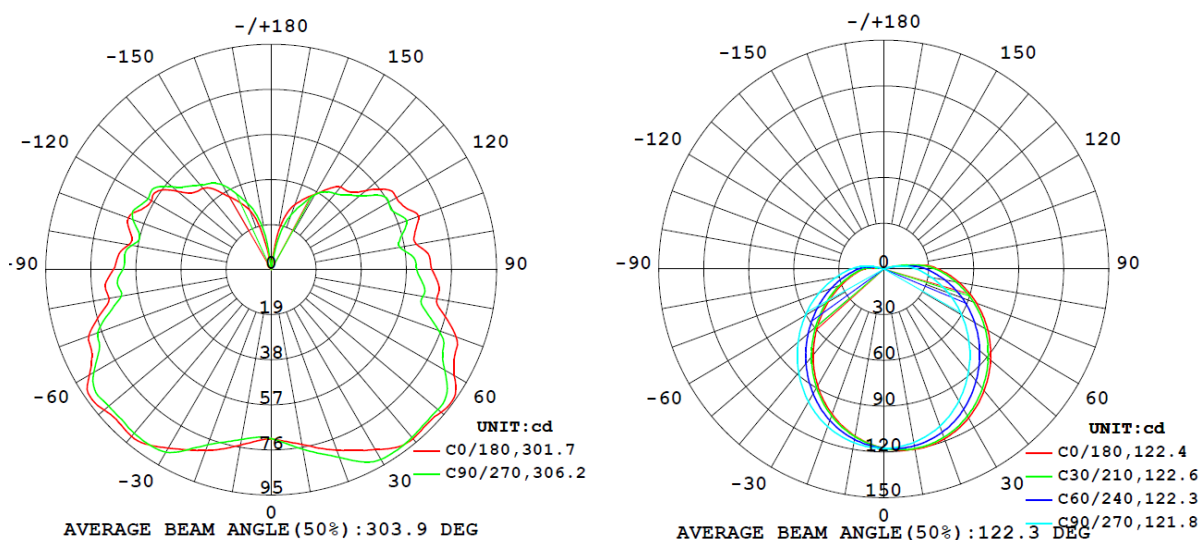


Obr. 32 – Vyzařovací charakteristika halogenové žárovky a svítidla s halogenovou žárovkou

Tab. 11 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s ECO halogenovou žárovkou.

Svítidlo s ECO halogenovou žárovkou		
Světelný tok [lm]		443,1
Měrný světelný výkon [lm/W]		7,9
Účinnost [%]	celková [%]	56,7
	up [%]	3,3
	down [%]	53,4
Maximální svítivost [cd]		123,1

Kompaktní zářivka

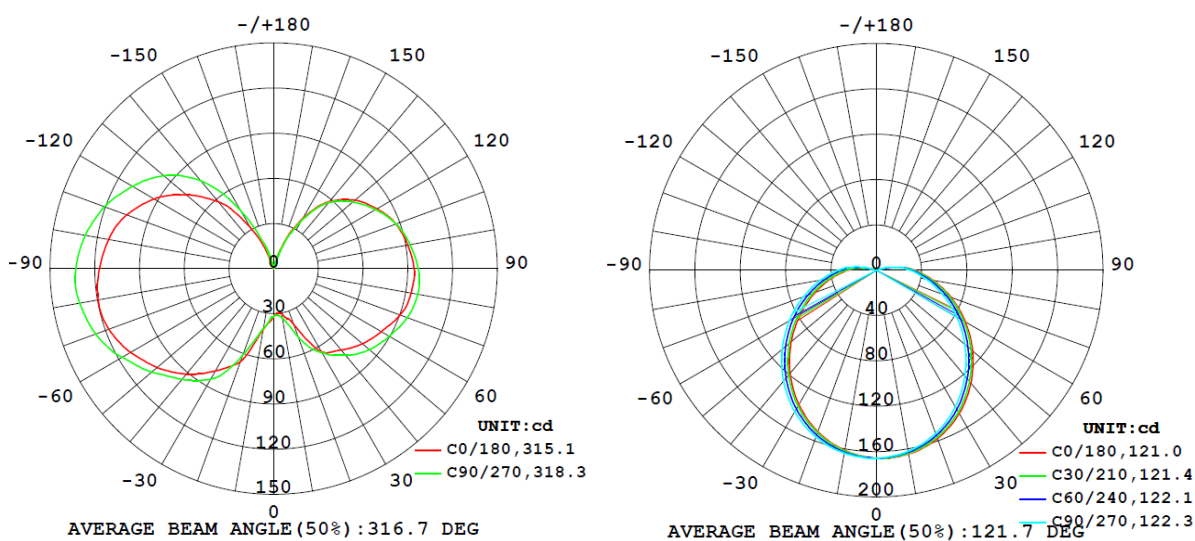


Obr. 33 – Vyzařovací charakteristika kompaktní zářivky a svítidla s kompaktní zářivkou

Tab. 12 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s kompaktní zářivkou.

Svítidlo s kompaktní zářivkou		
Světelný tok [lm]		427,7
Měrný světelný výkon [lm/W]		35,1
Účinnost [%]	celková [%]	51,1
	up [%]	3,1
	down [%]	48,0
Maximální svítivost [cd]		120,0

Žárovka LED filament

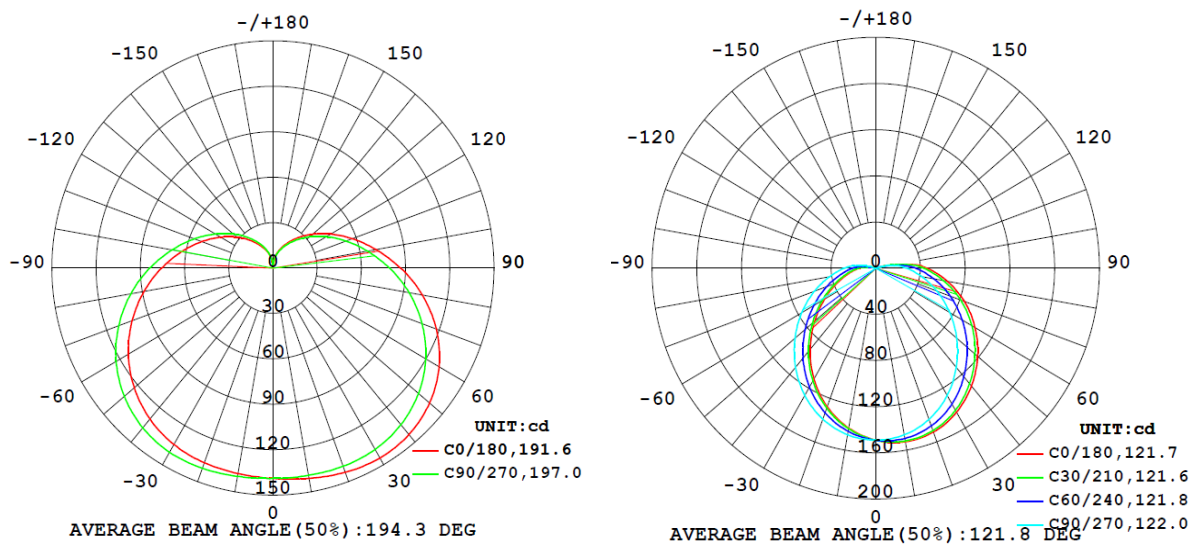


Obr. 34 – Vyzářovací charakteristika žárovky LED filament a svítidla s LED filament.

Tab. 13 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s LED filament.

Svítidlo s žárovkou LED filament		
Světelný tok [lm]		594,5
Měrný světelný výkon [lm/W]		70,8
Účinnost [%]	celková [%]	56,0
	up [%]	3,2
	down [%]	52,7
Maximální svítivost [cd]		166,00

Žárovka LED classic



Obr. 35 – Vyzářovací charakteristika žárovky LED classic a svítidla s LED classic

Tab. 14 – Naměřené hodnoty z goniofotometru – svítidlo s LED classic.

Svítidlo s žárovkou LED classic		
Světelný tok [lm]		542,5
Měrný světelný výkon [lm/W]		49,4
Účinnost [%]	celková [%]	53,4
	up [%]	3,2
	down [%]	50,1
Maximální svítivost [cd]		152,70

Dílčí závěr měření křivek svítivosti a účinností svítidel

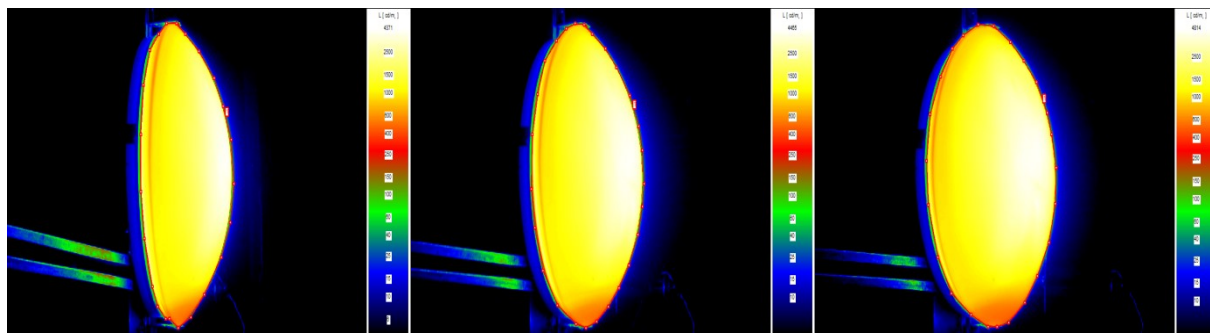
Za účelem zjištění vlivu světelného zdroje na parametry svítidla a jeho vyzařovací charakteristiku byla provedena měření pomocí goniofotometru. Výsledkem tohoto měření jsou data zapsaná v tabulkách (Tab. 10 – Tab. 14) a vynesené hodnoty svítivosti do polárních souřadnic (Obr. 31 – Obr. 35). Na těchto obrázcích jsou patrné vyzařovací charakteristiky pro jednotlivé světelné zdroje (levá část) a následně vyzařovací charakteristiky svítidla s těmito světelnými zdroji (pravá část). Dále je ve vynesných vyzařovacích charakteristikách vyznačený úhel vyzařování. Ten je vyznačený spojnici počátečního bodu souřadnicového systému s poloviční hodnotou maximální svítivosti svítidla.

Při pohledu na vyzařovací charakteristiky svítidel s ECO halogenovou žárovkou (Obr. 32) a žárovkou LED filament (Obr. 34) je zřejmé, že se jedná o svítidla přímá a rotačně symetrická, obdobně jako v případě svítidla s klasickou žárovkou. Rovněž tvar těchto křivek odpovídá tvaru křivek svítivosti svítidla s klasickou žárovkou. Prostorová distribuce světelného toku je tedy pro tato tři svítidla stejná.

Odchyšky, zejména v symetričnosti, jsou patrné u vyzařovacích charakteristik svítidel s kompaktní zářivkou (Obr. 33) a žárovkou LED classic (Obr. 35). U těchto dvou svítidel nastává posunutí maxima vyzařování mimo osu svítidla. Z tohoto důvodu dochází k odlišné distribuci světelného toku do prostoru, což je patrné z obrázků (Obr. 23 a Obr. 25) v podkapitole 3.2.1. Z těchto obrázků je patrné, že jedna stěna prostoru je jasnější než protilehlá. S tím souvisí také snížení rovnoměrnosti osvětleností. Důvodem odchylek u těchto dvou svítidel je konstrukce zdrojů, respektive přítomností předřadníků, potřebných pro jejich funkci. Kvůli těmto předřadníkům se posune ohnisko zdroje mimo střed svítidla (Obr. 13).

Dále jsem hodnotil úroveň světelného toku jednotlivých svítidel, respektive jejich účinnosti. Tyto hodnoty jsou vyneseny v tabulkách (Tab. 10 – Tab. 14). Nejvyšších účinností dosahují svítidla s klasickou žárovkou ($R_{LO} = 60,1 \%$), ECO halogenovou žárovkou ($R_{LO} = 56,7 \%$) a žárovkou LED filament ($R_{LO} = 56,0 \%$). Naopak nejnižší účinnosti dosahují svítidla s kompaktní zářivkou ($R_{LO} = 51,1 \%$) a žárovkou LED classic ($R_{LO} = 53,4 \%$). Nižší účinnost je dána konstrukcí těchto dvou zdrojů. Vlivem předřadníku a baňky (trubice) zdroje dochází ke zmaření části světelného toku odraženého od reflektorového plechu, umístěného na nosné konstrukci svítidla. S hodnotou účinnosti svítidla je spjata i hodnota jeho světelného toku. Nejvyšší hodnotu světelného toku má svítidlo s žárovkou LED filament ($\Phi = 594,5 \text{ lm}$) a nejnižší hodnotu má svítidlo s kompaktní zářivkou ($\Phi = 427,7 \text{ lm}$).

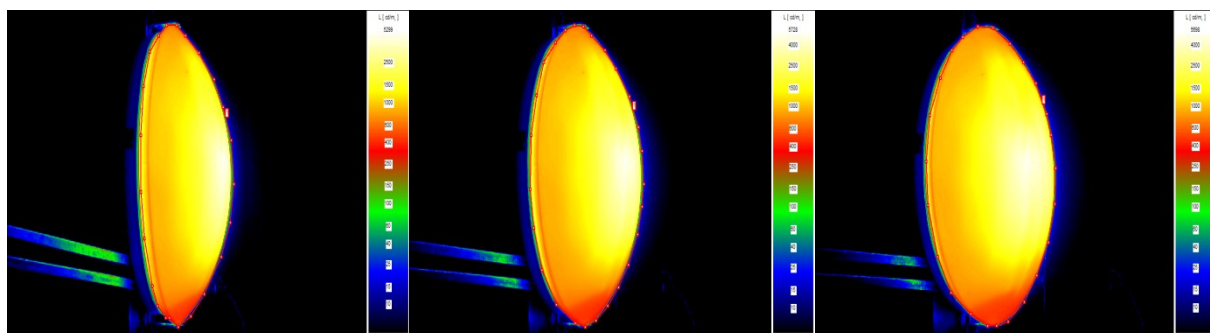
4.3.2 Oslnění



Obr. 36 – Jasová analýza klasické žárovky a svítidla s klasickou žárovkou.

Tab. 15 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s klasickou žárovkou.

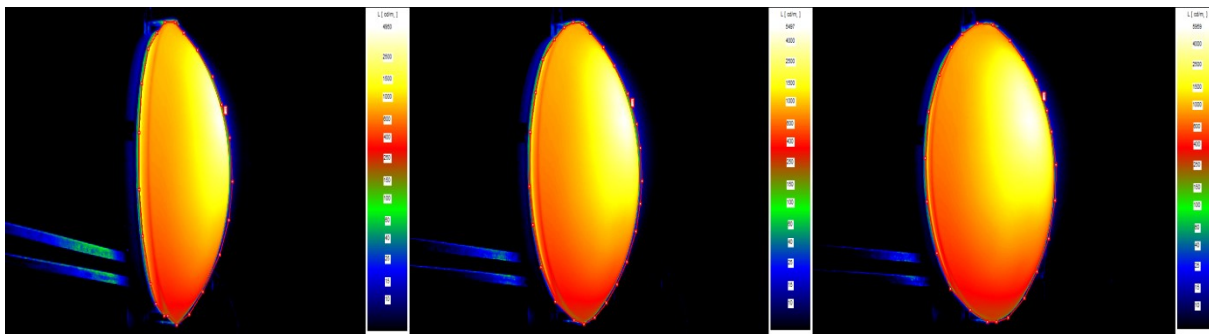
Úhel γ	L_{\max} (kcd/m ²)	L_{avg} (kcd/m ²)
75°	4,4	1,7
65°	4,5	1,8
55°	4,8	2



Obr. 37 – Jasová analýza ECO halogenové žárovky a svítidla s ECO halogenovou žárovkou.

Tab. 16 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s ECO halogenovou žárovkou.

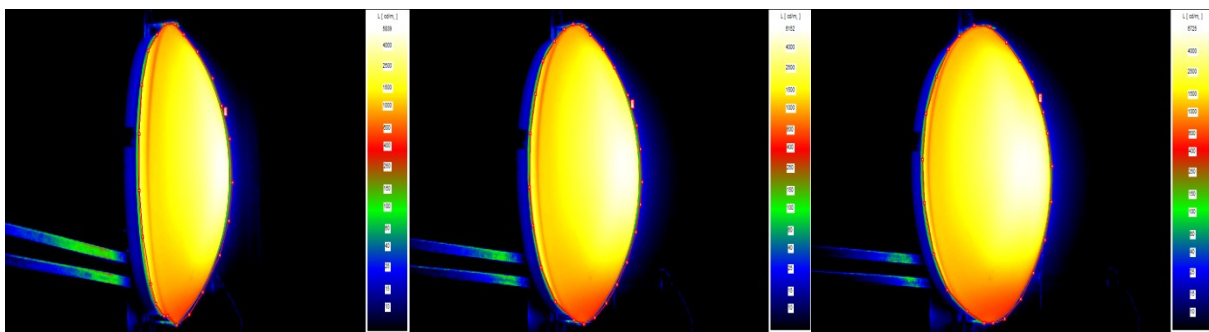
Úhel γ	L_{\max} (kcd/m ²)	L_{avg} (kcd/m ²)
75°	5,3	1,4
65°	5,7	1,6
55°	5,7	1,7



Obr. 38 – Jasová analýza kompaktní zářivky a svítidla s kompaktní zářivkou.

Tab. 17 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s kompaktní zářivkou.

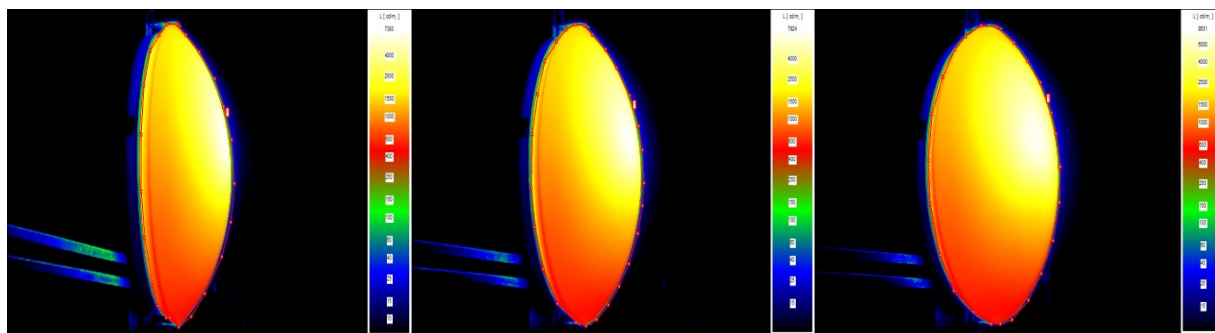
Úhel γ	L_{\max} (kcd/m ²)	L_{avg} (kcd/m ²)
75°	5	1
65°	5,5	1,2
55°	6	1,3



Obr. 39 – Jasová analýza žárovky LED filament a svítidla s žárovkou LED filament.

Tab. 18 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s žárovkou LED filament.

Úhel γ	L_{\max} (kcd/m ²)	L_{avg} (kcd/m ²)
75°	5,8	1,9
65°	6,2	2,1
55°	6,7	2,4



Obr. 40 – Jasová analýza žárovky LED classic a svítidla s žárovkou LED classic.

Tab. 19 – Naměřené hodnoty jasů u svítidla s žárovkou LED classic.

Úhel γ	L_{\max} (kcd/m ²)	L_{avg} (kcd/m ²)
75°	7,4	1,7
65°	7,9	2
55°	8,6	2,3

Dílčí závěr jasové analýzy

Při měření jasových map byla objímka svítidla situována směrem nahoru, což je patrné také z jasových map (Obr. 36 – Obr. 40). Jasové mapy jsem získal pomocí měření jasovým analyzátozem ve zvolených kritických úhlech. Z těchto jasových map jsem pomocí softwaru LMK labsoft určil hodnoty maximálních a průměrných jasů a vynesl je do tabulek (Tab. 15 – Tab. 19). Měření jsem provedl za účelem možného zhodnocení jasů svítidel z hlediska rušivého oslnění.

Požadavky na jas svítidla v daném směru z hlediska zábrany rušivého oslnění udává norma ČSN EN 12 464 – 1. Porovnáním tabulek z normy (Tab. 4) s tabulkami uvedenými výše (Tab. 15 – Tab. 19) vyplývá, že jasy v jednotlivých kritických úhlech nepřesahují dovolenou mez a není tedy nutné použití dalšího clonění pro eliminaci rušivého oslnění. Ovšem po stránce rušivého oslnění je nutné pohlížet na tuto problematiku i z hlediska rozložení jasu světelně činné plochy. Čím nižší je rovnoměrnost jasů světelně činné svítidla, tím větší je riziko vnímání rušivého oslnění. Je tedy patrné, že u svítidel s žárovkou LED classic a kompaktní zářivkou, se zvyšuje riziko vzniku rušivého oslnění, jelikož dochází k asymetrickému rozložení jasů svítidla (Obr. 38 a Obr. 40). Naopak u svítidel s klasickou žárovkou, ECO halogenovou žárovkou a žárovkou LED filament je rozložení jasů téměř homogenní (Obr. 36, Obr. 37 a Obr. 39).

4.3.3 Tabulka srovnání naměřených hodnot

Tab. 20 – Naměřené hodnoty parametrů světelných zdrojů a svítidla s těmito zdroji.

Parametr	Svítidlo s daným světelným zdrojem				
	Klasická ž.	Halogenová ž.	Kompaktní z.	LED filament	LED classic
Příkon [W]	75,6	56,1	12,2	8,4	11,0
Proud [mA]	328,0	244,0	89,6	69,9	92,3
Napětí [V]	230,2	230,1	230,0	230,1	230,1
Účinník [-]	1,0	1,0	0,6	0,5	0,5
Světelný tok [lm]	562,1	443,1	427,7	594,5	542,5
Měrný svět. v. [lm/W]	7,4	7,9	35,1	70,8	49,4
Max. svítivost [cd]	154,8	123,1	120,0	166,0	152,7
Vyzařovací úhel [°]	123,0	122,1	122,3	121,7	121,8
Účinnost [%]	60,1	56,7	51,1	56,0	53,4
Max. jas (75°) [kcd/m ²]	4,4	5,3	5,0	5,8	7,4
Max. jas (65°) [kcd/m ²]	4,5	5,7	5,5	6,2	7,9
Max. jas (55°) [kcd/m ²]	4,8	5,7	6,0	6,7	8,6
Prům. jas (75°) [kcd/m ²]	1,7	1,4	1,0	1,9	1,7
Prům. jas (65°) [kcd/m ²]	1,8	1,6	1,2	2,1	2,0
Prům. jas (55°) [kcd/m ²]	2,0	1,7	1,3	2,4	2,3
Naměřené hodnoty pouze světelných zdrojů					
Světelný tok [lm]	936,5	782,0	837,5	1062,0	1016,6
Náhr. teplota ch. [K]	2743	2802	2601	2750	2784
Měrný výkon [lm/W]	12,4	13,9	62,7	127,7	89,9
Index podání barev [-]	99,9	99,8	82,7	82,1	82,4

5 Srovnání vybraných svítidel měřením

Srovnání svítidel s pěti různými světelnými zdroji je provedeno s ohledem na data získaná měřením. Nejdříve jsem provedl měření v integrační kouli, pro ověření parametrů jednotlivých zdrojů. Následně jsem pomocí goniofotometru získal parametry jednotlivých svítidel, včetně vyzařovacích charakteristik. Nakonec jsem pro zajištění jasů světelně činných ploch svítidel, provedl jasovou analýzu. Jejím výstupem jsou jasové mapy, maximální a průměrné jasy světelně činných ploch svítidel.

5.1 Zhodnocení vhodnosti retrofitingu u jednotlivých světelných zdrojů

Při posuzování vhodnosti retrofitingu jsem vycházel z naměřených dat a teoretických znalostí. Je nutné podotknout, že níže uvedené závěry nemusí platit pro všechny typy svítidel. Je patrný rozdíl, mezi případem instalace daného světelného zdroje do přisazeného uzavřeného svítidla a případem svítidla závěsného otevřeného či jiných. Proto je nutné provést šetření vhodnosti retrofitingu pro každý typ svítidla zvlášť. Porovnání je provedeno vždy vzhledem ke svítidlu s klasickou žárovkou. Proto jsou výhody i nevýhody vztaženy vzhledem k tomuto svítidlu.

Svítidlo s ECO halogenovou žárovkou

Výhody:

- + Nižší příkon (1,3x)
- + Vyšší měrný výkon (1,1x)
- + Vyšší životnost světelného zdroje (2x)
- + Baňka během provozu nečerná
- + Stabilní světelný tok
- + Vyšší úspora elektrické energie

Nevýhody:

- Nižší světelný tok (1,3x)
- Nižší udržovaná osvětlenost srovnávací roviny
- Nižší účinnost svítidla (1,1x)
- Vyšší hodnoty maximálních jasů (1,2x)
- Vyšší cena světelného zdroje (2,2x)

Vhodnost retrofitingu: Jak je již zmíněno v teoretické části této práce, je halogenová žárovka vylepšenou klasickou žárovkou. K jasným výhodám patří délka života, nižší příkon a vyšší měrný světelný výkon. Tento světelný zdroj nemá vliv na tvar křivky svítivosti ani symetričnost svítidla a tedy rozložení světelného toku i jasu je stejné jako u klasické žárovky. Ovšem vzhledem k nižšímu světelnému toku a tedy i nižší svítivosti v jednotlivých úhlech vyzařování, dochází ke snížení udržované osvětlenosti objektu (kap. 3). Z tohoto hlediska je nutné před náhradou klasické žárovky halogenovou žárovkou posoudit, zda nedojde k poklesu udržované osvětlenosti pod hranici danou normou. S ohledem na zmíněné skutečnosti, bych ECO halogenovou žárovku, jako náhradu za klasickou žárovku, spíše nedoporučoval.

Kompaktní zářivka

Výhody:

- + Nižší příkon (více jak 6x)
- + Vyšší úspora el. energie
- + Vyšší měrný výkon (téměř 5x)
- + Vyšší životnost zdroje (10x)

Nevýhody:

- Nižší světelný tok (1,3x)
- Nižší udržovaná osvětlenost
- Nižší účinnost svítidla (1,2x)
- Vyšší hodnoty maximálních jasů (1,2x)
- Asymetrické rozložení jasů
- Vyšší cena zdroje (6x)
- Náběh na 100% světelného toku není okamžitý
- Nižší index podání barev ($R_a = 82,7$)
- Patice zdroje E14 (je nutná redukce)
- Světelný zdroj obsahuje rtuť
- Teplotní a polohová závislost zdroje
- Nutnost předřadníku
- Nižší hodnota účinníku ($\cos\varphi = 0,6$)

Vhodnost retrofitingu: Kompaktní zářivky jsou obecně určeny jako náhrada klasické žárovky. Bylo tedy nutné zjistit, zda se hodí i jako náhrada v tomto typu svítidla. Jejich nejvýraznější výhodou je značně nižší příkon, vyšší měrný světelný výkon a vyšší životnost než u klasické žárovky. S tím jsou spojeny značné úspory elektrické energie. Naopak jejich nevýhodou je především vyšší cena, doba náběhu na plný světelný tok a v tomto případě především vliv na tvar a symetričnost vyzařovací charakteristiky. Díky tomu dochází k asymetrickému rozložení jasu světelně činné plochy svítidla, což může mít za následek negativní vliv na vnímání pozorovatele. Dochází rovněž k nerovnoměrnému rozložení osvětleností a jasu v prostoru (kap. 3). Z této kapitoly lze také usoudit, že dochází ke snížení udržované osvětlenosti vlivem nižšího světelného toku svítidla. Díky nižšímu indexu podání barev ($R_a = 82,7$) není vhodný do aplikací vyžadující vysoký index podání barev (např. ateliér). Při výběru tohoto konkrétního světelného zdroje je nutné uvědomit si, že je vybaven patičkou E14. Je tedy nutné mít redukci, jelikož svítidlo je vybaveno objímkou E24. V neposlední řadě je důležité si uvědomit, že svítidlo s tímto světelným zdrojem dosahuje účinníku $\cos\varphi = 0,6$. Pro domácnost není nutné provádět kompenzaci, ovšem při projektech s větším počtem těchto světelných zdrojů je nutné tuto kompenzaci provést. S ohledem na zmíněné skutečnosti, bych kompaktní zářivku jako náhradu za klasickou žárovku, určitě nedoporučoval.

Žárovka LED filament

Výhody:

- + Nižší příkon (9x)
- + Vyšší úspora el. energie
- + Vyšší měrný výkon (9,6x)
- + Vyšší životnost zdroje (25x)
- + Větší hodnota světelného toku (1,1x)
- + Vyšší udržovaná osvětlenost

Nevýhody:

- Nižší hodnota účinníku ($\cos\varphi = 0,5$)
- Teplotní závislost
- Nižší účinnost (1,1x)
- Vyšší maximální jasy (1,3x)
- Nižší index podání barev ($R_a = 82,1$)
- Nutnost předřadníku

Vhodnost retrofitingu: Obecně LED zdroje v posledních letech nabývají obrovské oblibě. Hojně jsou využívány jako náhrady za klasické žárovky v domácnostech, ale také namísto zářivek v zářivkových svítidlech. Díky znatelně nižšímu příkonu, vyššímu měrnému výkonu a delší životnosti zdroje (respektive svítidla) dochází k výrazně nižší spotřebě elektrické energie, což má za následek úsporu finančních prostředků. K jejich nejvýraznějším nevýhodám patří vyšší pořizovací cena, teplotní závislost zdroje, nižší účinník a nižší index podání barev. Díky nižšímu indexu podání barev nejsou vhodné pro aplikaci v prostorech vyžadujících vysoký index podání barev (např. ateliér). Díky vestavěnému předřadníku v patici nedochází k posunutí ohniska zdroje mimo pozici ohniska klasické žárovky. Z tohoto důvodu nemá tento světelný zdroj výraznější vliv na tvar křivek svítivosti ani symetričnost vyzařování svítidla. Naopak disponuje vyšším světelným tokem a dochází k navýšení udržované osvětlenosti prostoru. S ohledem na zmíněné skutečnosti, bych žárovku LED filament jako náhradu za klasickou žárovkou, určitě doporučil.

Žárovka LED classic

Výhody:

- + Nižší příkon (6,9x)
- + Vyšší úspora el. energie
- + Vyšší měrný výkon (6,7x)
- + Vyšší životnost zdroje (30x)

Nevýhody:

- Nižší hodnota světelného toku
- Nižší udržovaná osvětlenost
- Nižší hodnota účinníku ($\cos\varphi = 0,5$)
- Teplotní závislost
- Nižší účinnost (1,2x)
- Vyšší maximální jasu (1,7x)
- Nižší index podání barev ($R_a = 82,4$)
- Nutnost předřadníku
- Asymetrické rozložení jasu

Vhodnost retrofitingu: Dalším LED zdrojem je žárovka LED classic. Oproti žárovce LED filament má tu nevýhodu, že je předřadník umístěn v krytu, který dosahuje poloviny délky žárovky. Z tohoto důvodu dochází k posunutí ohniska mimo pozici ohniska klasické žárovky, což má za následek změnu tvaru vyzařovací charakteristiky a její nesymetričnost. Dochází k asymetrickému rozložení jasu světelně činné plochy svítidla a negativnímu vnímání od pozorovatele. Dalším následkem je nerovnoměrné rozložení osvětlenosti a rozložení jasu v prostoru (kap. 3). Mezi nejvýraznější výhody těchto zdrojů patří především nižší příkon, vyšší měrný světelný výkon a životnost. S tím jsou spojeny výraznější úspory elektrické energie. Mezi hlavní nevýhody, kromě již uvedených, patří vyšší pořizovací cena, teplotní závislost, nižší index podání barev a nižší hodnota světelného toku svítidla. Dále je nutné si uvědomit, že vlivem předřadníku má tento světelný zdroj nižší hodnotu účinníku. S ohledem na zmíněné skutečnosti bych žárovku LED classic, jako náhradu za klasickou žárovku, spíše nedoporučoval.

5.2 Celkové zhodnocení vlastností svítidel

V této diplomové práci jsem se zabýval možnostmi retrofitingu přisazeného svítidla od společnosti EMOS spol. s r.o. Obecně se k retrofitingu svítidel přistupuje za účelem jejich optimalizace z hlediska ekologického vlivu. Současně je nutné zachovat jejich původní funkční vlastnosti. Pro posouzení vhodnosti retrofitingu u jednotlivých světelných zdrojů jsem provedl měření s jasovým analyzátozem, v integrační kouli a s goniofotometrem. Změřená data mi sloužila k posouzení vhodnosti retrofitingu daného svítidla. K posouzení určení vhodnosti retrofitingu jednotlivými světelnými zdroji, jsem využil také výsledků z multikriteriální analýzy (kap. 1 a 3).

Z výše uvedeného, je patrné, že nejvhodnějším světelným zdrojem pro retrofitting přisazeného svítidla společnosti EMOS spol. s r.o. je **žárovka LED filament**. Tento závěr je podložen nejen subjektivním porovnáním, ale také multikriteriálními analýzami v kapitole 1 a 3. Svítidlo s tímto zdrojem disponuje nejnižším příkonem ($P = 8,4 \text{ W}$), zároveň nevyšším měrným výkonem ($\eta = 70,8 \text{ lm/W}$) a vysokou životností (25 tis. hodin), díky čemuž dochází při aplikaci tohoto svítidla k výrazné úspoře elektrické energie. Z měření, které jsem provedl goniofotometrem, vyplývá, že náhradou klasické žárovky tímto zdrojem nedochází k ovlivnění tvaru křivek svítivosti ani symetričnosti vyzařování svítidla, čemuž napomáhá umístění předřadníku v patici zdroje. Nedochází ke změně distribuce světelného toku v prostoru a neovlivňuje rovnoměrnost osvětleností srovnávací roviny (kap. 3). Díky nejvyššímu světelnému toku svítidla s žárovkou LED filament, dochází ke zvýšení udržované osvětlenosti ($E_m = 24,0 \text{ lx}$), což jsem potvrdil v kapitole 3 při modelování osvětlovací soustavy zvoleného prostoru. I přes vyšší hodnoty svítivosti v jednotlivých úhlech pohledu nedochází k rušivému oslnění pozorovatele, což jsem potvrdil při měření jasovým analyzátozem. Hlavní nevýhodou těchto svítidel patří vyšší pořizovací cena (109 Kč), teplotní závislost zdroje, nižší hodnota účinníku ($\cos \varphi = 0,5$) a nižší hodnota indexu podání barev ($R_a = 82,1$). V důsledku nižší hodnotě indexu podání barev, se toto svítidlo nehodí do aplikací, vyžadující tento index vysoký (např. ateliér). Tento světelný zdroj, s ohledem na zmíněné výhody i nevýhody, **určitě doporučuji** k retrofitingu zmiňovaného svítidla.

Světelné zdroje, které bych k retrofitingu svítidla spíše nedoporučil, jsou **žárovka LED classic** a ECO halogenová žárovka. Žárovku LED classic nedoporučuji, protože z vyzařovací charakteristiky svítidla, získané měřením goniofotometrem, je patrné, že tento zdroj má výrazný vliv na tvar křivky svítivosti svítidla a především na její symetričnost. Vlivem této změny dochází k nesymetrickému rozložení osvětleností a jasů v prostoru, což je patrné na obrázku (Obr. 25). Z tohoto obrázku je patrné, že dochází k většímu osvětlení jedné z protilehlých stěn, snížení rovnoměrnosti osvětleností srovnávací roviny ($U_d = 0,68$) a snížení udržované osvětlenosti, což zapříčinila nižší hodnota světelného toku tohoto svítidla. Z jasových map, získaných pomocí jasového analyzátozu, je patrné, že rozložení jasů světelně činné plochy svítidla je asymetrické, což může mít negativní vliv na optický vjem pozorovatele. Mezi další důvody, proč tento zdroj nedoporučuji, patří vyšší pořizovací cena (89 Kč), teplotní závislost zdroje, nižší hodnota účinníku ($\cos \varphi = 0,5$) a nižší hodnota indexu podání barev ($R_a = 82,4$), což je obdobné s žárovkou LED filament. Na druhou stranu mezi hlavní výhody tohoto zdroje patří vysoká životnost (30 tis. hodin), nízký příkon ($P = 11 \text{ W}$) a vysoký měrný světelný výkon ($\eta = 49,4 \text{ lm/W}$). Jelikož je však vliv na fotometrické veličiny znatelný, **spíše nedoporučuji** tento světelný zdroj pro retrofitting dodaného svítidla i přes výraznější snížení spotřeby elektrické energie.

ECO halogenová žárovka nemá vliv na tvar křivky svítivosti svítidla ani na její symetričnost. Distribuce světelného toku je tedy stejná jako u svítidla s klasickou žárovkou, což jsem potvrdil měřením goniofotometrem a následným modelováním osvětlovací soustavy v kapitole 3. Dokonce dochází k nepatrnému zlepšení rovnoměrnosti osvětlenosti srovnávací roviny ($U_d = 0,75$). Také z měření jasovým analyzátozem vyplývá, že svítidlo s tímto zdrojem má symetrické rozložení jasů světelně činné plochy, nicméně v důsledku nižšího světelného toku svítidla dochází k výraznému snížení udržované osvětlenosti prostoru ($E_m = 17,8 \text{ lx}$). Při porovnání se svítidlem s klasickou žárovkou je jasně výhodnější z hlediska délky života (2 tis. hodin), nižšího příkonu ($P = 56,1 \text{ W}$) a vyššího měrného výkonu ($\eta = 7,9 \text{ lm/W}$), avšak rozdíl měrných výkonů těchto svítidel je vlivem nižší účinnosti svítidla s halogenovou žárovkou zanedbatelný. Tento zdroj bych pro retrofitting **spíše nedoporučuji**, jelikož zmíněné výhody nevyvažují sníženou udržovanou osvětlenost prostoru (kap. 3).

Světelný zdroj, který bych určitě nedoporučoval pro retrofitting posuzovaného svítidla, je **kompaktní zářivka**. Nejenže má negativní vliv na tvar křivek svítivosti svítidla a jeho symetričnost, což má za následek snížení rovnoměrnosti osvětlenosti ($U_d = 0,68$), ale také v důsledku nízkého světelného toku, způsobeného nižší účinností svítidla, dochází k poklesu udržované osvětlenosti ($E_m = 17,1 \text{ lx}$). Z jasových map je patrné asymetrické rozložení jasů světelně činné plochy svítidla, stejně jako u svítidla s žárovkou LED classic. Dalšími nevýhodami tohoto svítidla jsou vyšší pořizovací cena (79 Kč), doba náběhu na plný světelný tok (10 s), teplotní závislost, patice E14, nízká hodnota účinníku ($\cos \varphi = 0,6$) a nižší hodnota indexu podání barev ($R_a = 82,7$). Mezi hlavní výhody tohoto svítidla oproti svítidlu s klasickou žárovkou patří nižší příkon ($P = 12,2 \text{ W}$), vyšší měrný světelný výkon ($\eta = 35,1 \text{ lm/W}$) a vyšší životnost (10 tis. hodin). Zmíněné výhody však nepřesahují negativní vlivy tohoto zdroje na parametry svítidla (respektive osvětlovací soustavy). Z uvedených důvodů bych tento zdroj, **určitě nedoporučuji** pro retrofitting zkoumaného svítidla.

6 Závěr

Jak již bylo zmíněno v úvodu diplomové práce, hlavním cílem práce bylo ověření a určení vhodnosti retrofitingu přisazeného svítidla společnosti EMOS spol. s r.o. K tomuto určení bylo nutné provést teoretickou rešerši a sérii měření. V první části práce popisují jednotlivé světelné zdroje, včetně jejich konkrétních parametrů a pomocí multikriteriální analýzy určují nejvhodnější světelný zdroj. Je nutné podotknout, že výsledek multikriteriální analýzy je úzce spjatý s aplikací, ve které jsou jednotlivé zdroje instalovány a tedy s preferencemi, které jsem určil. Nejlepším světelným zdrojem z posuzovaných, je dle multikriteriální analýzy a mých preferencí, žárovka LED filament. Na tuto část navazují popisem možných vlivů světelných zdrojů na osvětlovací soustavu. V této části podporují teoretické poznatky praktickým výpočtem pomocí programu ReluxPRO, do kterého jsem dosadil hodnoty ve formátu *.ldt. Tyto hodnoty byly získány z měření v laboratoři. Z provedeného výpočtu jsem vyseparoval obrázky (Obr. 21 – Obr. 25) a parametry uvedené v tabulce (Tab. 5). V druhé části práce vyhodnocuji provedená měření. Tato měření jsem uskutečnil na 5 dodaných světelných zdrojích a dodaném svítidle. Konkrétně se jedná o měření s goniofotometrem, integrační koulí a jasovým analyzátozem. Veškeré změřené parametry, včetně vyzařovacích charakteristik a jasových map, uvádím v jednotlivých podkapitolách. V této části jsou mimo změřených dat, uvedeny i dílčí závěry. Celkové shrnutí vlastností svítidel, včetně určení vhodnosti retrofitingu je provedeno v předešlé kapitole.

Hlavní přínos této diplomové práce shledávám v určení vhodnosti retrofitingu přisazeného svítidla dodanými světelnými zdroji. Jako nejvhodnější světelný zdroj pro retrofitting dodaného svítidla určuji žárovku LED filament. K tomuto závěru jsem dospěl po měřeních, které jsem provedl na goniofotometru, integrační kouli a jasovém analyzátoru a také po aplikaci multikriteriální analýzy. Díky své konstrukci nedochází k vyšším ztrátám světelného toku uvnitř svítidla a plně se projevuje vyšší světelný tok tohoto zdroje, aniž by došlo ke změně tvaru křivky svítivosti a symetričnosti vyzařování svítidla. Což jsem potvrdil měřeními na goniofotometru. Oproti tomu dochází ke zvýšení udržované osvětlenosti prostoru a udržení rovnoměrnosti osvětleností, jež je patrné z modelu v ReluxPRO, kterému se věnuji v 3. kapitole. I přes vyšší svítivost v jednotlivých úhlech vyzařování, nedochází k rušivému oslnění pozorovatele. A především dochází k výraznému poklesu spotřeby elektrické energie a tedy ke značné úspoře finančních prostředků. Což podporuje i vysoká doba života tohoto světelného zdroje.

Další přínos shledávám v návrhu metodiky vyhodnocování vhodnosti retrofitingu svítidla a postupu porovnávání světelných zdrojů mezi sebou pomocí multikriteriální analýzy. Tento postup lze uplatnit rovněž u jiných typů aplikací s jasným výsledkem.

Jako navazující téma diplomové práce bych doporučoval posouzení vlivu optického systému svítidel na jeho parametry. Příkladem mohou být optické systémy prizmatické, opálové a čiré. Popřípadě jejich tvar a materiálové složení. Posoudit vliv těchto optických systémů z hlediska změn vyzařovacích charakteristik, oslnění, účinnosti a další.

Literatura

- [1] NOVÁK, Tomáš, Barbara HELŠTÝNOVÁ, Karel SOKANSKÝ, Tomáš MLČÁK a Petr ORSÁG. *Projekce a konstrukce vyhrazených technických zařízení elektro II* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2019-04-15]. ISBN 978-80-248-3536-5. Dostupné z: <http://netfei.vsb.cz>
- [2] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, et al. *Světelná technika* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2019-04-15]. ISBN 978-80-01-04941-9. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/index_ucebni_texty.htm
- [3] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [4] SVĚTLO časopis pro světlo a osvětlení. *Odbornecasopisy* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetelne-zdroje-halogenove-zarovky--15892>
- [5] *Halogenová žárovka*. *Web.natur.cuni* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/~kudch/main/halogeny/HALOGENY/HALOGENY/brom/vyznam/zarovka1.html>
- [6] CARBOL, Zbyňek. *Vývoj metodik a nástrojů pro optimalizaci svítidel na bázi LED* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/127360>. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.
- [7] *Obrázek nízkotlakého výboje v kompaktních zářivkách*. In: *Ledvance* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ledvance.cz/produkty/znalosti-produktu/zarivkove-svetelne-zdroje/profesionalni-znalosti/princip-fungovani-zalozen-na-nizkotlakem-vyboji/index.jsp>
- [8] *LED*. *Eluc.kr-olomoucky* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/621>
- [9] FCC PUBLIC média navazující na tradici české odborné literatury. *Odbornecasopisy* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/621>
- [10] *Obrázek světelné diody*. In: *Eshop.ledsolution* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://eshop.ledsolution.cz/led-diody-technicke-udaje/>
- [11] *Parametry světelných zdrojů*. *Gigalighting* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/parametry-svetelných-zdroju.htm>
- [12] ŠEBESTA, Jan. *Ověřování vybraných parametrů LED* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/118915>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.
- [13] *Účinník*. *Agrozet* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.agrozet.cz/slovník-pojmu/86-ucinnik.html>

[14] *Obrázek klasické žárovky*. In: *Zarovky* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.zarovky.cz/zarovka-60w-e27-230v-a55-cl/>

[15] *EMOS| Elektro eshop. Shop.emos* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://shop.emos.cz/?gclid=EAIaIQobChMItY2RgcU_3gIVybTtCh2m9QEWEEAAYASAAEgI-0fD_BwE

[16] SOKANSKÝ, Karel. Návrh kritérií pro vyhodnocování žádostí o dotace na obnovu veřejného osvětlení. In: *Csorsostrava* [online]. Ostrava, 2013, 2013 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Navrh_kriterii_pro_vyhodnocovani_zadosti_o_dotaci_na_obnovu_VO/N%C3%A1vrh%20krit%C3%A9ri%C3%AD%20pro%20vyhodnocov%C3%A1n%C3%AD%20C5%BE%C3%A1dost%C3%AD%20o%20dotace%20na%20obnovu%20ve%C5%99ejn%C3%A9ho%20osv%C4%Btlen%C3%AD.pdf

[17] *Vliv používání moderních světelných zdrojů na síť*. *Odbornecasopisy* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/vliv-pouzivani-modernich-svetelných-zdroju-na-sit--604>

[18] TOMEŠ, Martin. *Simulace LED náhrad v reálných podmínkách* [online]. Brno, 2014 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/31743>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.

[19] ŠTASTNÝ, Jakub. *Vliv pracovní polohy světelného zdroje na fotometrické parametry* [online]. Brno, 2015 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102108. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jan Škoda, Ph.D.

[20] VEČEŘA, František. *Měření světelné účinnosti zdrojů světla* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/68564066-Masarykova-univerzita-prirodovedecka-fakulta-mereni-svetelne-ucinnosti-zdroju-svetla-frantisek-vecera.html>. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. RNDr. Zdeněk Bochníček, Dr.

[21] *Obrázek závislosti světelného toku LED a doby svícení na pracovní teplotě* [online]. In: *Odbornecasopisy* [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39807.pdf>

[22] NOVÁK, Tomáš, Zbyněk CARBOL a Jan ŠUMPICH. *Hodnocení jasů LED svítidel typu downlight*. 2012.

[23] ČSN EN 12464-1. Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů: Vnitřní pracovní prostory. 2012.

[24] *Zákon č. 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh*. UNMZ [online]. 2016 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/zakon-c-90-2016-sb-o-posuzovani-shody-stanovenych-vyrobků-při-jejich-dodavani-na-trh-pdf-663-kb->

[25] *Prohlášení o shodě, CE*. EZU: *Elektrotechnický zkušební ústav* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://ezu.cz/katalog-produktu/prohlaseni-o-shode-ce/>

[26] *Obrázek vlivu indexu podání barev na barevný vjem*. In: *Ledme* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://ledme.cz/led-panely/1361-led-panel-ledme-pro-600x600-48w-cri90.html>

[27] *RELUX* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://reluxnet.relux.com/en/>

Seznam elektronických příloh

Příloha I. – Multikriteriální analýza pro srovnání dodaných světelných zdrojů.

(Příloha v IS EDISON)

Příloha II. – Multikriteriální analýza pro srovnání parametrů jednotlivých osvětlovacích soustav.

(Příloha v IS EDISON)

Příloha III. – Světelně technický návrh v programu ReluxPRO pro jednotlivá svítidla.

(Příloha v IS EDISON)

Příloha IV. – Report z měření jednotlivých světelných zdrojů v integrační kouli.

(Příloha v IS EDISON)

Příloha V. – Report z měření jednotlivých svítidel a světelných zdrojů pomocí goniofotometru.

(Příloha v IS EDISON)